

University of Groningen

Auf des Messers Schneide

Abbingh, Gerwin ; Nijboer, Albertus

Published in:
Varia neolithica

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2014

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Abbingh, G., & Nijboer, A. (2014). Auf des Messers Schneide: "Stahlproduktion" im 7. Jh. v. Chr. in Italien? In *Varia neolithica: Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte Mitteleuropas 75* (Vol. VIII, pp. 111-131)

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Varia neolithica VIII



Beiträge der Tagungen der Arbeitsgemeinschaft

Werkzeuge und Waffen

Pottenstein (Fränkische Schweiz) 2011 &

Herxheim bei Landau in der Pfalz 2012

Aktuelles aus der Neolithforschung

Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte Mitteleuropas 75

Varia neolithica VIII

„Material – Werkzeug : Werkzeug – Material“

& „Klinge, Messer, Schwert & Co –

Neues aus der Schneidenwelt“

Aktuelles aus der Neolithforschung

Beiträge der Tagungen der Arbeitsgemeinschaft

Werkzeuge und Waffen

Pottenstein (Fränkische Schweiz) 2011 &

Herxheim bei Landau in der Pfalz 2012

sowie Aktuelles

Herausgegeben von

Hans-Jürgen Beier, Ralph Einicke

& Eric Biermann

Es ist nicht gestattet, diese Arbeit ohne Zustimmung von Verlag, Autoren und Herausgebern ganz oder auszugsweise nachzudrucken, zu kopieren, in andere Sprachen zu übertragen oder auf sonst irgendeine Art zu vervielfältigen. Gleiches gilt auch für die fototechnische oder elektronische Speicherung. Bezüglich Fotokopien verweisen wir nachdrücklich auf §§ 53, 54 UrhG.

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Bibliographische Information Der Deutschen Nationalbibliothek.
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische
Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

Impressum

Verlag:	Beier & Beran. Archäologische Fachliteratur Thomas-Müntzer-Str. 103, Weißbach, D-08134 Langenweißbach Tel. 037603 / 3688. Fax 3690 Internet: www.beier-beran.de , E-Mail verlagbeier@aol.com
Redaktion:	Hans-Jürgen Beier (Langenweißbach), Eric Biermann (Köln), Ralph Einicke (Halle/Sa.)
Satz/Layout:	Ralph Einicke (Halle/Sa.)
Druck:	Verlag
Herstellung:	Buchbinderei Reinhardt Weidenweg 17, 06120 Halle/Sa.
Preis:	39,00 EUR
Vertrieb:	Verlag oder jede andere Buchhandlung online unter www.archaeologie-und-buecher.de

C: Copyright und V. i. S. d. P. für den Inhalt liegen bei den jeweiligen Autoren

ISBN 978-3-95741-016-0

hergestellt in der Bundesrepublik Deutschland / printed in Germany

Vorsatz: *Oberflächennaher altsteinzeitlicher Feuersteinbergbau bei Bergheide in der Niederlausitz,
Rekonstruktionszeichnung B. Fischer (vgl. Beitrag J. Beran in diesem Band S. 48, Abb. 10).*

Inhalt

4. Jahrestagung der AG Werkzeuge & Waffen, 25. bis 28. August 2011, Pottenstein (Fränkische Schweiz), Thema: Material – Werkzeug : Werkzeug – Material

Helmut Windl und Eric Biermann „Material – Werkzeug : Werkzeug – Material“ Ein Kurzbericht zur 4. Jahrestagung der AG Werkzeuge & Waffen vom 25.08. bis 28.08.2011 in Pottenstein (Fränkische Schweiz)	1–7
Jonas Beran Spitzhauen und Schlangenkopfhacken	9–20
Jonas Beran Nackenkammäxte und A-Äxte: eine Werkstatt – zwei Auftraggeber?	21–30
Jakob Maurer Alles aus Serpentin! Die Fälscherwerkstatt von Waidhofen an der Ybbs (Niederösterreich)	31–42
Jonas Beran Steinzeitlicher Feuersteinabbau oder neuzeitliche Experimentalarchäologie? Ein Flintwerkplatz in Vehlefanz, Lkr. Oberhavel (Brandenburg)	43–58

17th Annual Meeting of the European Association of Archaeologists, 14th – 18th September 2011, Oslo (Norway), Session: The phenomenon of prehistoric roundels across Europe – a diachronic comparison with particular consideration of taphonomic and anthropogenic influences on finds distribution, ditch section variability and backfilling processes

Fabian Haack Limits of different backfills or boundaries of overlapping pits? Reconstructing the architecture and the filling processes of the pit enclosure of Herxheim (Palatinate, Germany)	59–70
---	-------

5. Jahrestagung der AG Werkzeuge & Waffen, 06. bis 08. September 2012, Herxheim bei Landau in der Pfalz, Thema: Klinge, Messer, Schwert & Co – Neues aus der Schneidenwelt

Alexander Gramsch und Eric Biermann „Klinge, Messer, Schwert & Co – Neues aus der Schneidenwelt“ Ein Kurzbericht zur 5. Jahrestagung der AG Werkzeuge & Waffen vom 06. bis 08. September 2012 in Herxheim bei Landau in der Pfalz	71–77
Berrin Çep Das mittelpaläolithische Silexinventar des Bocksteins im Lonetal (Schwäbische Alb). Vielfalt der Formen oder Fortbestand einer technologischen Idee?	79–92
Anja Probst Knochenjob – Untersuchungen zu Gebrauchsspuren an jung- und endneolithischen Knochenwerkzeugen ...	93–100
Katharina Schäppi MesserFORMen – Die Metamorphosen spätbronzezeitlicher Bronzemesser durch Herstellung und Gebrauch	101–110
Gerwin Abbingh und Albert J. Nijboer Auf des Messers Schneide: „Stahlproduktion“ im 7. Jh. v. Chr. in Italien?	111–131

Gabriele Wagner	
Auf Messers Schneide – in Brauchtum, Aberglauben und Magie	133–140

Allgemeine Beiträge

Hans-Christoph Strien	
Eine neue Seriation der ältesten Linienbandkeramik: Zeitliche und räumliche Differenzierung	141–161
Ralph Einicke	
Einige Bemerkungen zu den klebeverzierten Gefäßen der jüngeren Linienbandkeramik	163–172
Manfred Pfeifer und Eric Biermann	
Eine geschäftete Geröllkeule im Versuch. Theoretische Grundlagen und praktische Anwendung	173–178

Gerwin Abbingh und Albert J. Nijboer

Auf des Messers Schneide: „Stahlproduktion“ im 7. Jh. v. Chr. in Italien?

Einführung

Im Mittelpunkt dieses Beitrages stehen Fragestellungen zur Herstellungstechnik von Messern und Beilen im 7. Jh. v. Chr. in Mittelitalien. Er konzentriert sich daher vor allem auf die technologischen Untersuchungen. Die Einordnung der Ergebnisse in den archäologischen Kontext bzw. in die Entwicklung der Eisentechnologie in Italien wird ausführlicher an anderer Stelle beschrieben (Nijboer 1998; 2011, 10–17).

Lage der Fundstelle

Die Fundstelle befindet sich nahe des Dorfes Borgo Le Ferriere, ca. 14 km westlich von Latina, der Hauptstadt der Provinz Lazio, nördlich der Küstenstädte Nettuno und Anzio und ca. 60 km südlich Roms (Abb. 1 und 2). Abb. 2 zeigt eine Luftaufnahme des Dorfes Borgo Le Ferriere. Klar erkennbar sind die Umrisse der Akropolis mit den Resten des Tempels der *Mater Matuta*, die durch eine moderne Dachkonstruktion geschützt werden. Abb. 3 zeigt in schematisierter Form die relevanten Befunde, die während der Grabungen freigelegt wurden.

Forschungsgeschichte¹

Die Fundstelle wurde Ende des 19. Jhs. von italienischen Archäologen im Rahmen des in dieser Zeit aufkommenen Interesses an den von antiken Autoren (z.B. Livius) erwähnten Städten entdeckt. Nahe Borgo Le Ferriere wurde das antike *Satricum*² vermutet.

In den Jahren 1896 bis 1898 bzw. 1907 bis 1910 fanden erste Grabungsarbeiten unter der Leitung von F. Barnabei und R. Mengarelli vom Museum Villa Giulia in Rom statt. Während dieser Grabungen wurden unter anderem

die Mauerreste des Tempels, ein Votivdepot innerhalb des Tempelbereiches (datiert in die späten Eisenzeit bzw. frühe archaische Periode) und eine Votivgrube aus dem 4. bis 2. Jh. v. Chr. ausgegraben (Maaskant-Kleibrink 1987, 22–30). Die Siedlungsspuren, die auf der Akropolis freigelegt wurden, sind in das 9. bis 6. Jh. v. Chr. zu datieren. Ein dort befindliches Gräberfeld aus dem 5. Jh. v. Chr., legte den Schluss nahe, dass sich das antike *Satricum* hingegen nicht auf der Akropolis befunden haben kann³.

Alle Funde aus den frühen Grabungen befinden sich in der Villa Giulia in Rom. Da das Interesse an der Fundstelle offensichtlich nicht besonders groß war, fielen die Bereiche südlich der Akropolis in den 1960er Jahren landwirtschaftlichen Reorganisationsmaßnahmen zum Opfer (*Bonificia*).

Ab 1977 wurden die Untersuchungen in *Satricum* von niederländischen Archäologen⁴ wieder aufgenommen. Zuerst wurde ein neuer Plan der Fundstelle erstellt (Maaskant-Kleibrink 1987, 7 map IV). Anhand von Suchschnitten wurde erstens versucht zu ermitteln wie groß der Schaden war, der durch die *Bonificia* verursacht wurde und zweitens wo die Grabungen aus dem 19. Jh. genau zu lokalisieren sind. Nach dieser ersten Aufnahme der Fundstelle, wurde ein Forschungsvorhaben mit dem Ziel „[to] trace the plan of the ancient town and to gain a proper understanding of the successive periods of human activity on the acropolis of Le Ferriere“ definiert (Maaskant-Kleibrink 1992, 3). So fanden zwischen 1977 und 1992

¹ S. auch Maaskant-Kleibrink 1992, 22–30.

² Die Identifizierung der Fundstelle als *Satricum* trifft allerdings nur für die Siedlungsreste zu, die in das 5. Jh. v. Chr. und später datiert werden, nicht aber für die frühesten Siedlungsspuren aus dem späten 10./frühen 9. Jh. v. Chr.

³ Eine gefundene Inschrift beweist, dass es sich bei der Fundstelle tatsächlich um *Satricum* handelt. Im 5./4. Jh. v. Chr. wurde *Satricum* von den Volsken bewohnt, die zwar den Tempel auf der Akropolis weiter benutzten, nicht aber die alte Siedlung aus dem 6. Jh. Diese wurde zum Teil als Gräberfeld weiter genutzt (Nijboer, pers. Komm.).

⁴ U.a. durch Prof. M. Gnade des Niederländischen Instituts in Rom (KNIR) und durch das Institut für Archäologie der Rijksuniversiteit Groningen (GIA), das bis Anfang der 1990er Jahre in *Satricum* Ausgrabungen durchführte. Bis heute führt das GIA eine Landesaufnahme in der Region rund um *Satricum* durch (Prof. P. Attema). Die hier vorgestellten Eisenobjekte stammen aus den Grabungen des GIA Anfang der 1990er Jahre.

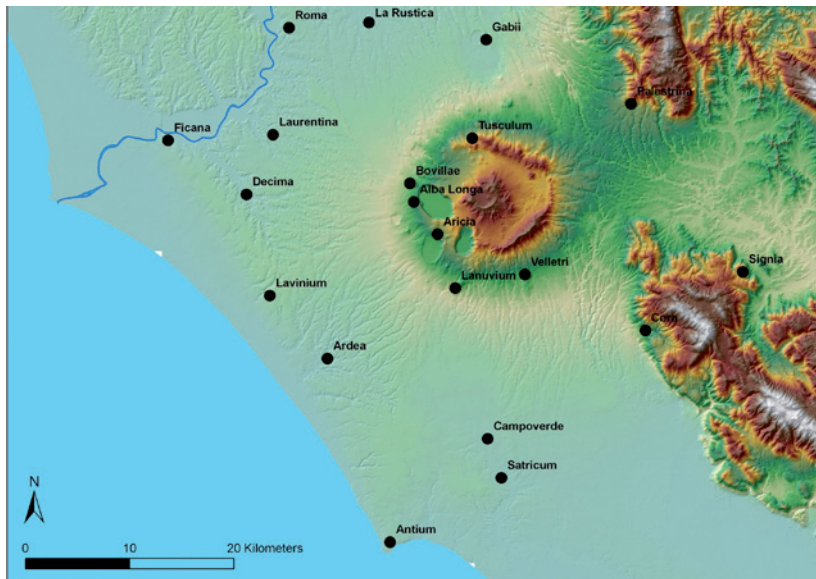


Abb. 1: Lage der Fundstelle in Bezug zu Rom (nach J. Seubers, GIA).



Abb. 2: Borgo Le Ferriere (Satellitenbild; Quelle: Google-Maps).

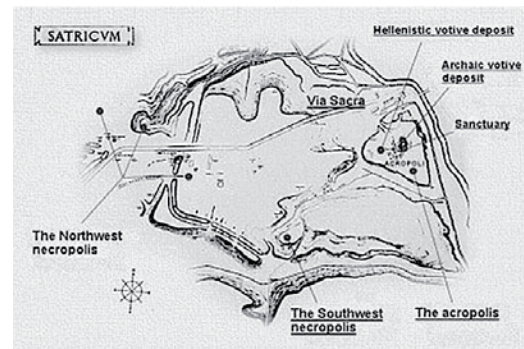


Abb. 3: Lageplan des Ausgrabungsareals (zur Verfügung gestellt von Dr. Nijboer).

kontinuierlich Grabungen und Materialkampagnen statt, deren Ergebnisse bisher in zwei Monographien veröffentlicht wurden (Maaskant-Kleibrink 1987; 1992)⁵.

Chronologie

Bevor die Ergebnisse der materialtechnischen Untersuchungen präsentiert werden, soll hier kurz die Chronologie der Befunde der Kampagnen von 1977 bis 1992 dargestellt werden. Insgesamt wurden die Befunde in sieben Phasen eingeordnet, von denen folgende für diesen Beitrag relevant sind:

Phase I	(830–725 v. Chr)
Phase IIA	(725–650 v. Chr)
Phase IIB	(650–600/590 v. Chr)
Phase IIIA	(590–580/570 v. Chr)
Phase IVA	(580/570–540/530 v. Chr)

⁵ Zudem erschienen verschiedene Publikationen, die sich mit dem Material oder mit unterschiedlichen Aspekten der Fundstelle beschäftigen (z.B. Nijboer 1998; Gnade 2007).

Insbesondere die Datierung der frühesten Phase wird kontrovers diskutiert (s. Nijboer 2008; Nijboer/van der Plicht 2008; Bietti-Sestieri/De Santis 2008).

In den ersten Phasen der Siedlung kennzeichneten kleine ovale Häuser begleitet von kleinen runden Kochplätzen das Siedlungsbild. Weihgaben für eine weibliche Göttin zeigen, dass im 8. Jh. v. Chr. ein Kult in der Siedlung etabliert wurde. Im Laufe des späten 8. Jhs. bzw. im frühen 7. Jh. v. Chr. wurden die kleineren ovalen Häuser von größeren ovalen Häusern abgelöst. Das Wirtschaftssystem der frühen Phasen basierte auf Jagd, Viehzucht (Rinder, Schweine, Schafe/Ziegen), Ackerbau und Handel. Zudem gibt es einige Hinweise auf spezialisierte Handwerkstätigkeiten (Maaskant-Kleibrink 1992, 15).

Eisentechnologie – eine kurze Einführung

Spuren von Eisenver- und -bearbeitung sind im archäologischen Kontext oft schwer nachweisbar. Rennöfen sind in der Regel nur einmal benutzbar und werden nach dem Schmelzprozess zerstört. Oft sind Schlackeklötze in den Herdgruben die einzigen Reste, die noch angetroffen wer-

den. In *Satricum* gibt es allerdings keine Hinweise auf diesen Ofentyp⁶.

In der Siedlung wurden in drei Arealen Schlacken gefunden, die mit der Verarbeitung von Eisen in Verbindung gebracht werden können (Abb. 4). Die älteste Konzentration der Schlacken datiert in die 2. Hälfte des 7. Jh. v. Chr. Über die verschiedenen Befunde konnten Schlacken insgesamt für die Zeitspanne vom 7. Jh. bis zum 4. Jh. v. Chr. nachgewiesen werden (Nijboer 1998, 247).

Die entdeckten Schlacken ließen sich in vier Kategorien (Nijboer 1998, 247) unterteilen:

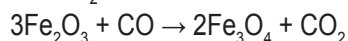
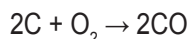
1. plankonvex geformte Schlacken mit einem relativ hohem Gewicht
2. Schmiedeschlacken, die in der Zusammensetzung den plankonvexen Schlacken ähnlich, aber in der Form kleiner und unregelmäßiger sind
3. nicht-magnetische, leichte und zum Teil poröse Schlackenreste, die oft mit Resten von Asche und/oder Sand versehen sind
4. geschmolzene Schlacken mit Resten von Öfen oder deren Verkleidung

Insgesamt wurden 7,2 kg dieser Schlacken untersucht (Abbingh 1993, 40–48). Schlacken der ersten bis dritten Kategorie waren in dieser untersuchten Menge vertreten, solche der vierten Kategorie wurden nicht analysiert⁷. Tab. 1 zeigt die Gewichtsverteilung der Schlacken der einzelnen Kategorien (Abbingh 1993, 40).

Eisenherstellung – der Prozess⁸

Für die vor- und frühgeschichtlichen Perioden wird eine Herstellung von Eisen durch die Verwendung von sog. Rennöfen angenommen. In diesen Öfen wurde allerdings die Schmelztemperatur von Eisen (1536° C) nicht erreicht⁹, so dass das Eisen aus dem Erz herausgelöst werden musste. Die Schmelze fand unter reduzierten Bedingungen statt und die auftretenden Reaktionen können folgendermaßen dargestellt werden:

Bei Temperaturen von ca. 400° C bis 800° C:



⁶ Es wurden allerdings Öfen zur Herstellung von Keramik gefunden (Nijboer 1998, 115–131).

⁷ Dieser Typ stand für eine Analyse nicht zur Verfügung.

⁸ Dieser Abschnitt basiert auf Nijboer (1998, 150–162) und Abbingh (1993, 3–10).

⁹ J. E. Rehder (1986) sowie A. Burnett, P. T. Craddock und N. Meeks (Burnett et al. 1986) berichten, dass höhere Temperaturen in diesen Öfen erreicht werden können (s. auch Nijboer 1998, 221 Anm. 112).

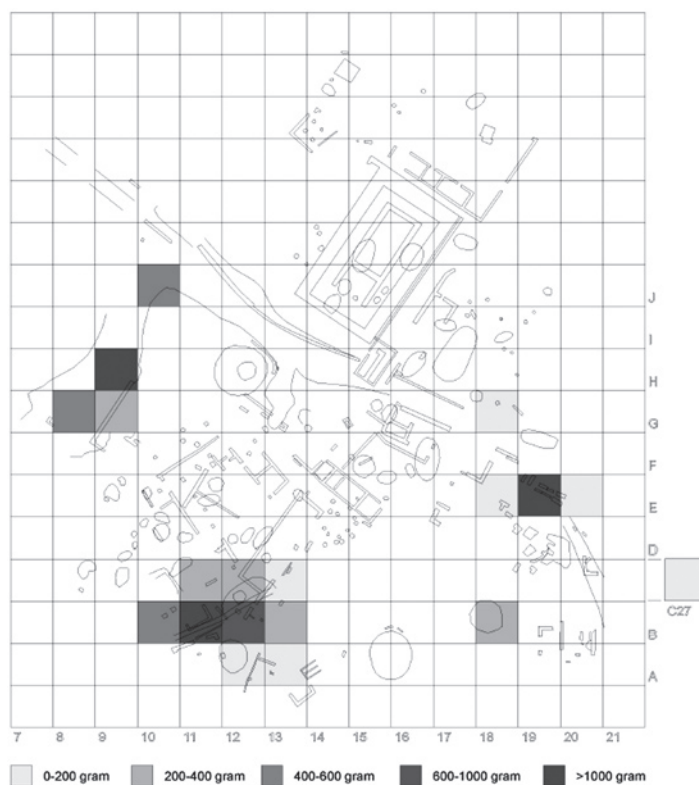
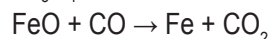
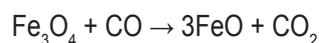


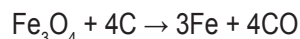
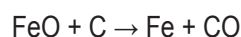
Abb. 4: Verteilung der Eisenschlacken (nach Nijboer 1998, 246 Abb. 49).

	Kategorie 1 plankonvexe Schlacken	Kategorie 2 Schmiede- schlacken	Kategorie 3 Ascheschlacken
Anzahl	18	34	106
Gewicht Σ	3887g	1948g	1358g
Gewicht (Mittel)	216g	57,31g	12,81g
Gewicht (Min.–Max.)	80,14–834,10g	8,07–487,10g	1,00–69,88g

Tab. 1: Gewichtsverteilung der Schlacken von *Satricum* pro Kategorie.



Ab ca. 800° C findet dann direkte Reduktion des Eisens statt:



Während des Schmelzprozesses löst sich der Kohlenstoff in dem flüssigen Eisen auf und formt Zementit:

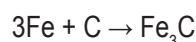
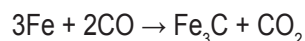


Abb. 5 zeigt den für die frühe Eisenherstellung relevanten Teil des Phasendiagramms von Fe–C. Bei einer Temperatur von ca. 1140° C kann bis zu 2 % des Kohlenstoffes im Eisen absorbiert werden. Aus dem Phasendiagramm ist ersichtlich, dass bei einem Kohlenstoffgehalt von 0,02 Ma.% < C < 0,8 Ma.% im Gefüge und Temperaturen oberhalb von 723° C bereits α -Eisen aus dem γ + α -Gebiet ent-

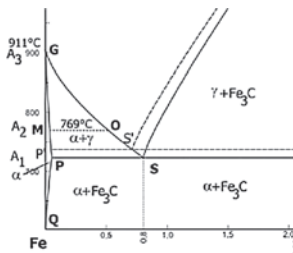


Abb. 5: Ausschnitt des Phasendiagramms für Fe und C (nach: <http://wikipedia.de/Eisen-Kohlenstoff-Diagramm.html>, recherchiert am 11.09.2012).

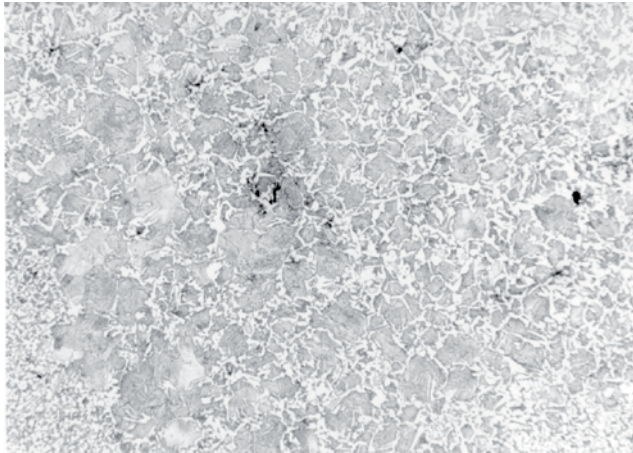


Abb. 6: Ferrit und Perlit, Beil S5030-9, Probe 2, M:75x.

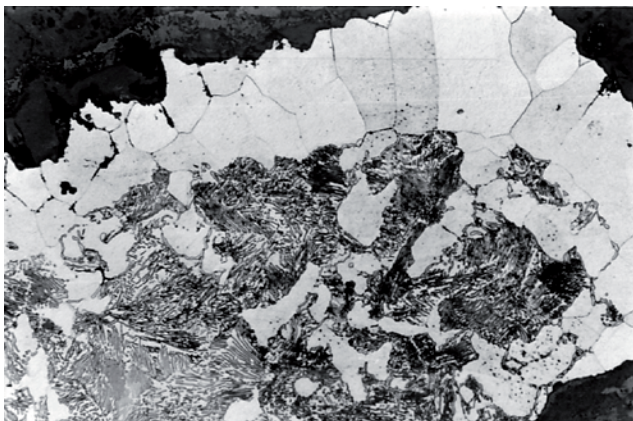


Abb. 7: Eisenluppe S5030-5, Probe 2, M:300x.

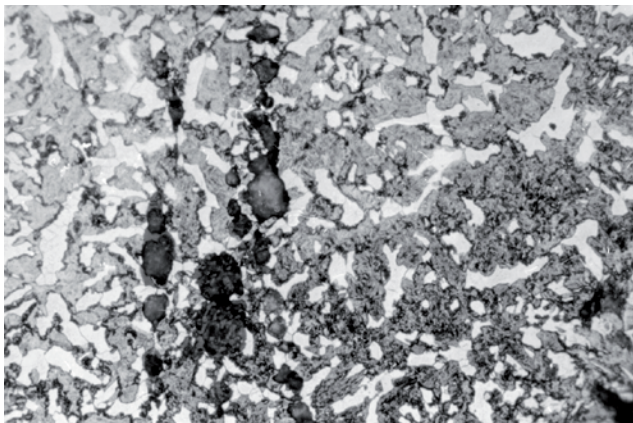


Abb. 8: Martensitisches Gefüge, Beil S5030-9, Probe 1, M:300x, Härte: 290 HV.

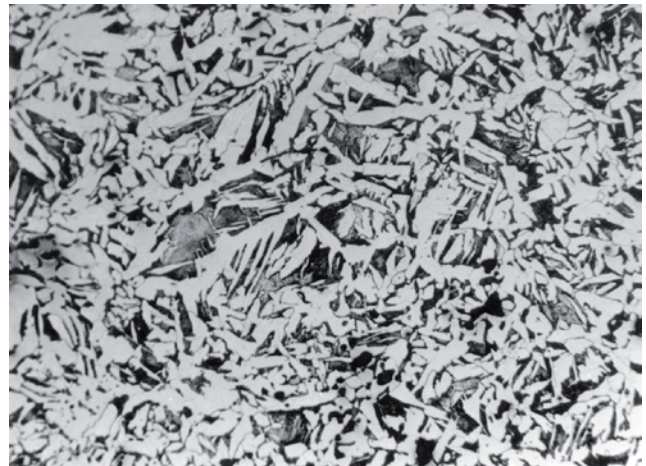


Abb. 9: Widmannstätten Gefüge, S4479, Probe 1, M:150x.

steht, weshalb bei Temperaturen unterhalb von 723°C neben dem im Perlit enthaltenen α -Eisen auch noch α -Eisen aus dem $\gamma+\alpha$ -Gebiet vorliegt¹⁰. Bei der Bildung des Eutektoids Perlit (C = 0,8 %) verarmt das Gefüge lokal an Kohlenstoff während sich die Nachbargewebe durch Diffusion immer weiter mit Kohlenstoff anreichern. Bedingt durch die Abwechslung von kohlenstoffarmen und -reichen Gebieten entsteht dabei die typische Lamellenstruktur. Stellt sich nun ein Kohlenstoffgehalt von 0,02 % in der kohlenstoffarmen Lamelle ein, klappt das Gefüge der Lamelle in Ferrit (α -Fe) um. Der Kohlenstoffgehalt in der kohlenstoffreichen Lamelle dagegen steigt bis auf 6,67 %, es bildet sich also Zementit (Fe_3C)¹¹.

Abb. 6 zeigt ein Ferritisches-Perlitisches-Gefüge des Beils S5030-9, typisch für einen Stahl mit niedrigem Kohlenstoffgehalt (bis zu 0,4 %).

Das reine Vorhandensein von Kohlenstoff im Eisengefüge hat nicht unbedingt eine Steigerung der Härte des Eisens zur Folge. Dies hängt mit der Kristallstruktur des Eisengefüges zusammen. Ferrit hat ein kubisch-raumzentriertes Kristallmodell, ist relativ weich und korrosionsanfällig. Es entsteht unterhalb von Temperaturen von ca. 911°C als α -Fe und zwischen 911°C und ca. 1392°C als γ -Fe¹². Austenit, z.B. γ -Fe, besteht aus einer kubisch-flächenzentrierten Kristallstruktur mit einer maximalen Löslichkeit des Kohlenstoffs von ca. 2 % bei 1140°C. Es hat eine geringe Härte, die aber durch ein rasches Abkühlen (Abschrecken) des Eisens sehr stark erhöht werden kann. Wenn das Roheisen aus der Schmelze langsam an der Luft gekühlt wird, entsteht eine typische lamellare Struktur aus kohlenstoffarmen und kohlenstoffreichen Bereichen (Abb. 7).

¹⁰ S. <http://wikipedia.de/Eisen-Kohlenstoff-Diagramm.html>.

¹¹ Ebenda.

¹² S. <http://de.wikipedia.org/wiki/Ferrit>.

Carbon content %	Modern name	Archaeological Name	Phases present	Properties
0.0–0.25	Low carbon steel	Wrought iron	Ferrite + carbon	Very malleable
0.25–0.55	Medium carbon steel	Carburised iron	Ferrite + pearlite	Very malleable
0.55–0.9	High carbon steel	Steel	Pearlite	
0.9–1.6	Tool steel		Cementite + pearlite	
2.5–5	Cast iron	Cast iron	Graphite + pearlite + Ferrite	Very brittle

Tab. 2: Begriffe und Eigenschaften von archäologischem Eisen.

Abb. 7 zeigt Probe 2 der untersuchten Eisenluppe (s. u.) wobei folgende Bereiche ersichtlich sind:

- große kohlenstofffreie Körner mit phosphorhaltigem Eisen¹³;
- die lamellare Struktur von Eisen mit viel (bis 0,8–1,0%) Kohlenstoff und weniger Kohlenstoff;
- Zementit.

Diese Struktur deutet auf eine langsame Abkühlung der Luppe nach dem Schmelzvorgang hin.

Um Eisen zu härten ist normalerweise eine rasche Abkühlung notwendig, wodurch Martensit im Eisengefüge entsteht (Martensitische Umwandlung). Dabei wird die kubisch-flächenzentrierte Kristallstruktur des Austenits in ein tetragonal raumzentriertes Gitter umgewandelt und verzerrt. Der im Austenit enthaltene Kohlenstoff bleibt in diesem Gitter zwangsgelöst und das Eisen bekommt eine größere Härte (Abb. 8).

Auffallend war während der Untersuchungen das Vorhandensein des sog. Widmannstättischen Gefüges in einigen Proben. Abb. 9 zeigt die typische Struktur dieses Gefüges: „Bei grobem Austenitkorn (dadurch zu lange Diffusionswege) und schneller Abkühlung von hoher Austenitisierungstemperatur (dadurch zu geringe Diffusionszeit) erfolgt die Ausscheidung voreutektoider Segregate, wie Ferrit oder Sekundärzementit, auch als nadelförmiger (spießiger) Gefügebestandteil innerhalb der Austenitkörner. Durch diese Gefügeanordnung liegt dann entweder der Ferrit oder der Zementit in der typischen spießigen Form vor“ (Lober 2012).

Um die nachfolgenden Ergebnisse der Untersuchungen an den Objekten besser einordnen zu können, bietet Tab. 2 eine Zusammenfassung der wesentlichen Begriffe und Eigenschaften des Stahls der Vor- und Frühgeschichte (nach Cronyn 1990, Tab. 5.1; Nijboer 1998, 152 Abb. 44). Die Härte des Eisens nimmt zwar bei einem höheren Anteil an Kohlenstoff (0,0–0,9%) zu, jedoch in weit geringerem Maße, als durch das Abschrecken des Eisens.

Objekt	Summe	Angewandte Techniken				
		O	A	Oa	U	M
Meißel	4	2				2
Axt	10	6		2		2
Tüllenbeil	19	8	2	5	2	2
Schwert/Dolch	16	7	3	4	1	1
Messer	61	41	9	6	3	2
Sichel	18	15	2	1		
Ahle	9	3	6			
Lanzenspitze	33	22	5	4	1	1
Streitaxt	3	2		1		
Varia	2	1		1		
Total	175	107	27	24	7	10

O = Ferritisches Eisen oder heterogener Stahl mit geringem Kohlenstoff

A = Artefakte komplett aus Stahl (0,3–0,4%)

Oa = Karbonisierter Schneide

U = Ferrit an Stahl geschmiedet (*fagotting*)

M = Ferrit an Stahl geschmiedet (int. System)

Tab. 3: Eisentechnologie in Europa 800 bis 400 v. Chr. (nach Pleiner 1980, 389 Tab. 11.1).

Auf der Basis verschiedener Typen des Eisengefüges hat R. Pleiner die Technologien der frühen Eisenproduktion gegliedert (Tab. 3; Pleiner 1980, 388 Tab. 11.1). Seine Ergebnisse basieren auf Untersuchungen von 175 metallographischen Analysen an Eisenartefakten aus der Periode von ca. 800–500 v. Chr. Nicht überraschend ist das Ergebnis, nach dem die Mehrheit der Artefakte der Gruppe O zuzuordnen ist. Auf Basis unserer Untersuchungen und derjenigen der wenigen Vergleichsuntersuchungen von Eisenobjekten ähnlicher Perioden und Regionen können wir dieses Bild vorerst nur bestätigen.

Frühes Eisen in Italien – Stand der Forschung¹⁴

Schlacken und Eisenartefakte aus dem italienischen Raum wurden bislang kaum untersucht. Die bekanntesten Studien liegen von G. Sperl (1981) vom Institut für Metallurgie in Mailand (Associazione Italiana di Metallurgia [A.I.M.]; Panzeri/Leoni 1960; Panzeri/Leoni 1966) und von L. Folio

¹³ Der Phosphor verhindert das Eindringen von Kohlenstoff im Gefüge: „Phosphorus will not be present in regions where carbon is located in the iron matrix because phosphorus is a substitutional solute element whereas carbon is an interstitial solute element...“ (Balasubramanian o. J.).

¹⁴ Basierend auf den Forschungsstand von 1993.

Object	O	A	Oa	U	HV	Referenz
Sword Varenna I	X				115	Regioni/Garino 1955
Sword Novate	X					Regioni/Garino 1955
Sword Magenta	X					Regioni/Garino 1955
Sword Acquate	X					Regioni/Garino 1955
Sword Varenna II	X				140–150	Regioni/Garino 1955
Sword Cuvio		X				Regioni/Garino 1955
Sword		X				Panseri/Leoni 1961
Dagger	X	X				Follo et al. 1988)
Sword (x3)	X	X				Follo et al. 1988
Fibula	?					Follo et al. 1988
Speerspitze		X →			135–145 (F+P) 200–215 (P+F) 240–250 (Ni-CO)	Panseri/Leoni 1966
Axt			X		525–560 (M) 390–420 (T) 215–245 P+F) 150–170 (F+P) 125–145 (F)	Panseri/Leoni 1960

O = Ferrit oder Phosphoreisen, heterogener Stahl mit wenig oder mittlerem Kohlenstoffgehalt

A = Zusammenschmieden von heterogenem Stahl mit ferritischem oder Phosphoreisen

Oa = Stahl mit mittlerem Kohlenstoffgehalt, nicht abgeschreckt (mit einem hohen bis niedrigen Kohlenstoffgradient vom Rand bis zum Zentrum hin)

U = Stahl mit mittlerem Kohlenstoffgehalt, abgeschreckt

Tab. 4: Übersicht aller metallographischer Untersuchungen aus dem Forschungsgebiet.

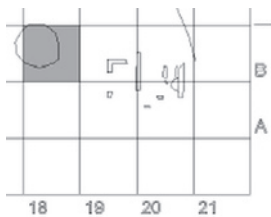


Abb. 10: Quadrat B18. Kontext der Funde mit den Fundnummern S5030 und S5099.

(Follo et al. 1988) vor. Die meisten Analysen wurden an Eisenartefakten aus Osteuropa durchgeführt, u. a. durch R. Pleiner (1980) und J. Piaskowski (1983). Für die britischen Inseln waren es u. a. R. Tylecote, G. McDonnell und P. Crew, die die archäologische Eisenforschung vorantrieben und -treiben¹⁵. Zu Beginn unserer Untersuchungen waren folgende metallographische Analysen von Eisenartefakten aus Italien für die Periode zwischen dem 7. und dem 3. Jh. v. Chr. verfügbar (s. auch Tab. 4):

- 6 gallische Schwerter aus der Lombardei (Regioni/Garino 1955);
- 1 Dolchblatt, 6. Jh. v. Chr. (Follo et al. 1988);
- 1 „Blutegel“-Fibel, 7. Jh. v. Chr. (Follo et al. 1988);
- 3 Schwertblätter, 4.–3. Jh. v. Chr. (Follo et al. 1988);
- 1 Axt, 7.–6. Jh. v. Chr. aus Vetulonia (Panseri/Leoni 1960);
- 1 Speerspitze, 4. Jh. v. Chr. (Panseri/Leoni 1966);

¹⁵ S. Tylecote/Gilmore 1986; McDonnell 1986; Crew 1991; aber auch Scott 1990.

- 1 Schwert, 7. Jh. v. Chr. (Panseri/Leoni 1961).

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Objekte vorgestellt, die metallographisch untersucht wurden.

Die Eisenobjekte von Satricum – Analysen und Ergebnisse

Alle in diesem Abschnitt vorgestellten Objekte stammen aus den Grabungen des Instituts für Archäologie der Rijksuniversität Groningen (NL). Die Objekte wurden in Siedlungskontexten entdeckt, die in das 7. bis 6. Jh. v. Chr. datieren. Die Objekte mit der Fundnummer S5030 und S5099 stammen alle aus einer Grube im Quadrant B18 (Abb. 10). In diesem Quadrant wurde eine große Menge an Metallfunden und Keramik entdeckt¹⁶.

In dieser Studie werden folgende Objekte analysiert:

¹⁶ „In addition to slags, the excavation of an area south of the temple in square B18 yielded a metal and pottery deposition that included copper alloy vessels and jewellery as well as iron axes, knives and a piece of raw, unworked iron. The piece of unworked iron is a bloom or billet. The associated pottery is bucchero, a black burnished carinated impasto bowl, fragments of a stand of impasto rosso, impasto jars and an impasto amphora decorated with a double spiral, all dated to the second half of the 7th century BC. These objects were deposited in the settlement area, though the exact context is not known. The assemblage implies, however, trade and production of metal artefacts“ (Nijboer 1998, 220).

- zwei Tüllenbeile (S5099 und S5030-9)¹⁷;
- zwei Messer (S5030 und S4607);
- eine Eisenluppe (S5030-5).

Für die Untersuchungen wurden folgende Techniken eingesetzt:

- Röntgenfotografie¹⁸;
- Metallographie mittels „Auflichtmikroskopie“;
- SEM-EDAX-Analyse von Schlackeneinschlüssen in den Eisenobjekten.

Mittels Röntgenaufnahmen der Artefakte wurde zunächst ermittelt, ob ausreichend metallisches Eisen in den Objekten erhalten war (dies war vor allem für die Messer hilfreich, da dabei z.B. festgestellt wurde, dass Messer S5030-5 zu korrodiert war, um eine sinnvolle Analyse an diesem Objekt durchzuführen). Danach wurden die Funde auf eventuelle Spuren einer Oberflächenbehandlung geprüft.

Die Proben für die metallographischen Analysen wurden in der Regel mit einer Diamantsäge (jewellers piercing saw) entnommen. Für solche aus dem Körper der Beile wurde die sog. Spark-Erosion-Technik angewandt¹⁹. Mittels dieses Verfahrens war es möglich, relativ schnell Proben aus dem Inneren der Beile zu entnehmen, ohne diese zu stark zu beschädigen. Alle entnommenen Proben wurden in leitendes Bakelit eingebettet, geschliffen und poliert²⁰. Um eine eventuelle Korrelation zwischen den Objekten und der Lupe aufzeigen zu können, wurden außerdem Schlackeneinschlüsse aus der Lupe und den zugehörigen Objekten mittels SEM-EDAX quantitativ analysiert. Ziel war es, festzustellen, ob die Lupe und die Objekte aus dem gleichen Erz hergestellt wurden.

Alle Proben wurden in nicht-geätzt und geätzt Zustand im Maßstab 1:10 gezeichnet. Die Zeichnungen wurden alle nach der gleichen Legende erstellt (s. Abb. 14). Alle Proben wurden unter einem Auflichtmikroskop mit unterschiedlichen Vergrößerungen fotografiert²¹ und beschrieben. Die Abkürzung M. bei den Aufnahmen steht für die Vergrößerung (Magnification).



Abb. 11: Beil S5099.



Abb. 12: Beil S5099, Röntgenbild (S5099-C: 115kV, 180s; S5099-D: 115kV, 240s).

Beil S5099 (Abb. 11 bis 13)

Dieses Beil wurde in Quadrant B18 (Abb. 10) in Zusammenhang mit einem bearbeiteten Stück Roheisen (Bloom S5030-5), einem Beil S5030-9 und einem Messer S5030-3 gefunden. Es handelt sich um ein Tüllenbeil mit folgenden Daten (Abb. 11):

Erhaltene Länge:	16,5 cm
Abmessungen der Tülle:	4,4 x 4,4 cm
Länge der Tülle:	7,0 cm
Länge des Blattes:	9,5 cm
Max. Breite des Blattes:	6,6 cm
Dicke des Blattes:	1,0–2,0 cm (incl. Korrosion)
Gewicht:	794,2 g

Das Röntgenbild (Abb. 12) zeigt einen guten Erhaltungszustand des Metalls und keine Anzeichen einer Oberflächenbehandlung (z. B. Dekoration).

Probe 1: Schneide

Im nichtgeätzten Zustand (Abb. 15) wurde erkennbar, dass die Schneide leider erheblich korrodiert und mineralisiert war. An einigen Stellen konnten aber noch Metallreste beobachtet werden. Abb. 16 zeigt viele Schlackeneinschlüsse, die mindestens drei helle Linien formen. Zu

¹⁷ Zusätzlich wurde ein Tüllenbeil analysiert, das bei einem Survey nahe Valvisciolo gefunden wurde (7. Jh. v. Chr.; Abbingh 1993, 62–65).

¹⁸ Hewlett Packard Cabinet X-Ray system (Faxitron 43855).

¹⁹ Für eine Beschreibung dieser Technik s. Krar (1984, 622–628) und Lindberg (1983, 728–732).

²⁰ Die genaue Art der Probenaufbereitung kann beim Autor G. Abbingh angefragt werden.

²¹ Kamera Olympus OM-1N mit 35–70 mm Zoomobjektiv; Filme: ILFORD FP4 125 ASA Schwarzweiß. Alle hier gezeigten Aufnahmen wurden von G. Abbingh angefertigt.

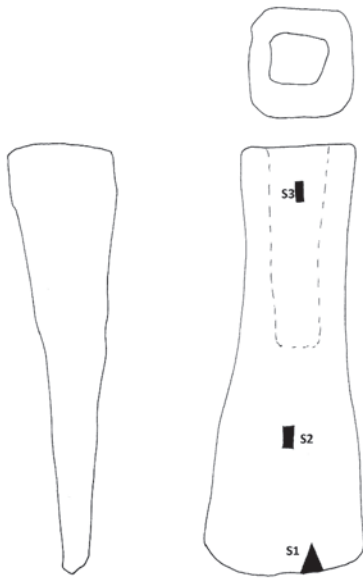


Abb. 13: Beil S5099, S1 bis S3 zeigen die Probeentnahmestellen (M. 1:3).

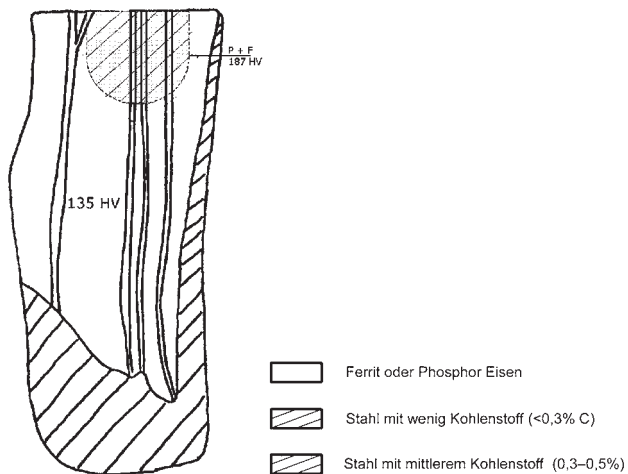


Abb. 14: Beil S5099, Probe 1, schematische Übersicht (M. 6:1).



Abb. 15: Beil S5099, Probe 1, Ferrit und Perlit, klar erkennbar die sog. Weldlines, M 18,75x.

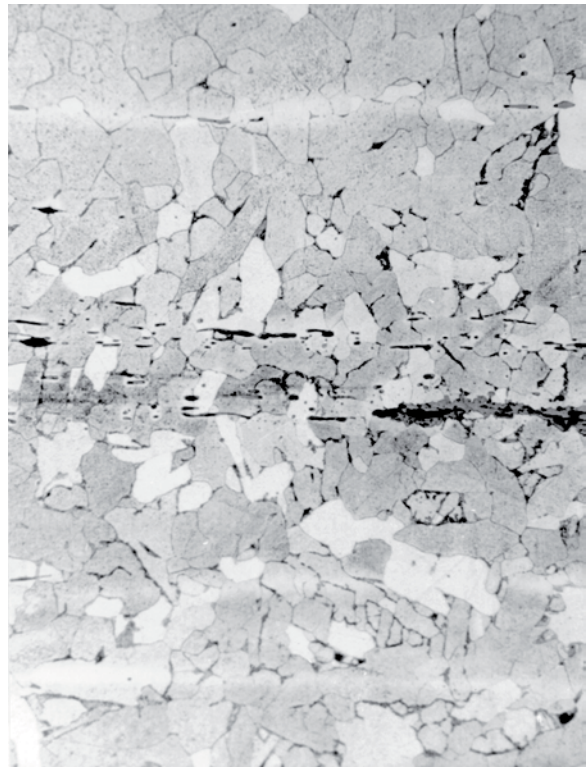


Abb. 16: Beil S5099, Probe 1, Ferrit mit ein wenig Perlit, M:75x.

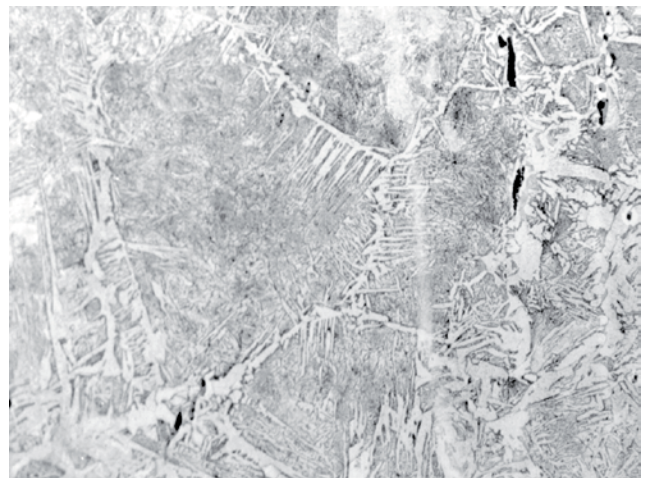


Abb. 17: Beil S5099, Probe 1, Widmannstätten ähnlicher Struktur, M:150x.

diesen sog. Weld-Lines schreibt Ottaway: „The white/yellow ‘weld-lines’ and the observation that the structure was not interrupted by the weld lines suggest a good quality weld. The perfect weld achieves crystal inter growth between the pieces joined, and is therefore impossible to detect, unless other information is available, such as the presence of two different types of iron... The more common forms of weld line are those defined by lines of slag inclusions (...) showing as white/yellow lines after etching in Nital. The white yellow lines are normally enriched in nickel or arsenic, and form because of the preferential

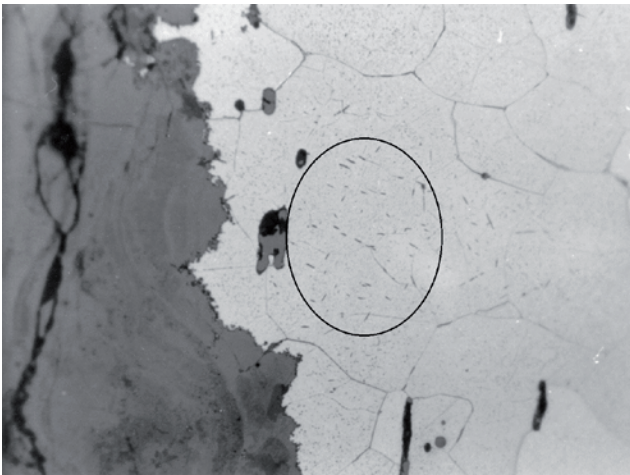


Abb. 18: Beil S5099, Probe 1, Ferrit mit Nitric-Carbide-Nadeln (ageing), M:300x.

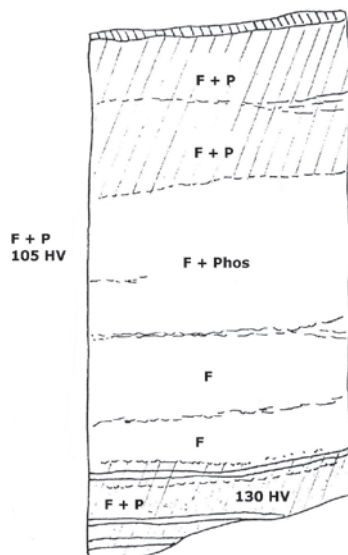


Abb. 19: Beil S5099, Probe 2, Kern des Beils, schematische Übersicht (Legende s. Abb. 14; M. 5:1).

oxidation of elemental iron (with respect to nickel and arsenic) during heating. These lines which normally contain a low number of slag inclusions were found in the better quality artifacts" (Ottaway 1991, 482).

In dieser Probe waren nach dem Ätzzvorgang (mit 2% Nital) folgende Mikrostrukturen zu unterscheiden (Abb. 14): Die Schneide war stark korrodiert, somit konnte kein Hinweis auf eine schnelle Abkühlung und eine dadurch entstandenen Martensitstruktur nachgewiesen werden. Parallel zur Längsachse des Beils konnten mindestens vier Weldlines erkannt werden, was auf eine Bearbeitung des Objektes unter hohen Temperaturen hinweist. Richtung Beilkörper (oberer Bereich in Abb. 14) wurde eine höhere Konzentration an Kohlenstoff im Eisen festgestellt (0,3–0,4%; Abb. 15 und 16). Klar erkennbar ist auch die durch das Schmieden entstandene verzerrte Kristallstruktur (Abb. 16). In einigen Bereichen war zudem eine Wid-

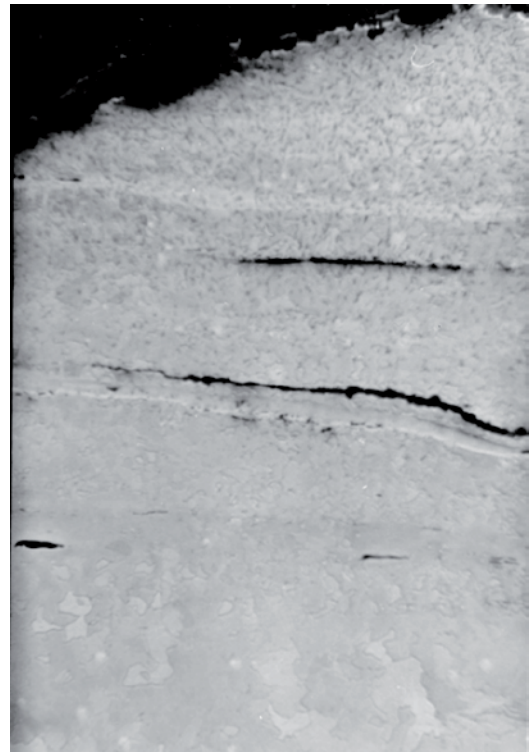


Abb. 20: Beil S5099, Probe 2, M:18,75x.

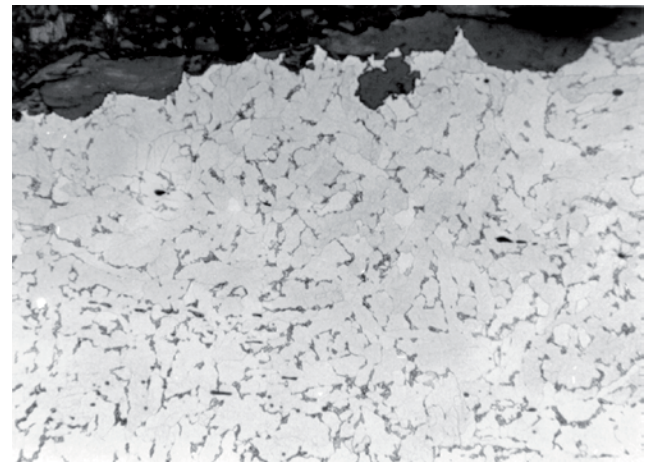


Abb. 21: Beil S5099-S2, Probe 2, Ferritisches Eisen mit wenig Kohlenstoff, M:150x.

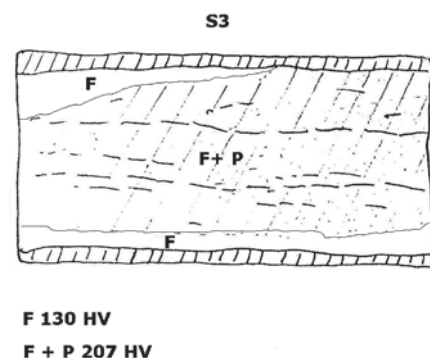


Abb. 22: Beil S5099, Probe 3, schematische Darstellung (Legende s. Abb. 14; M. 5:1).

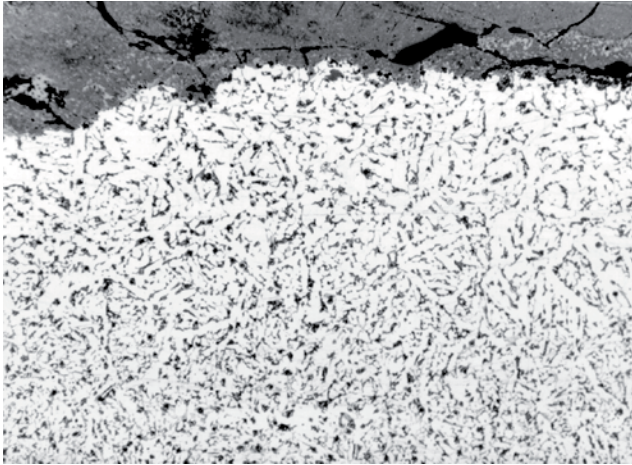


Abb. 23: Beil S5099, Probe 3, Ferrit und Perlit, M75x.

manstätten ähnliche Struktur vorhanden (Abb. 17). Entlang einer der Seiten, begleitet von einigen schmalen aus Schlackeneinschlüssen bestehenden Linien, befand sich eine Schicht kohlenstoffreies großkörniges Ferrit. Einige dieser Körner enthielten sog. Nitric-Carbid-Nadeln (Abb. 18, im Kreis; s. dazu auch Ottaway 1991, Taf. 48c).

Probe 2: Kern des Beils

Diese Probe wurde mittels der Spark-Erosion-Technik entnommen. In ihr wurden unterschiedliche Strukturen im Gefüge sichtbar. Diese sind in Abb. 19 schematisch gekennzeichnet.

Im nichtgeätzten Zustand waren bis zu fünf parallel verlaufenden Linien von Schlackeneinschlüssen sichtbar, die im geätzten Zustand als helle Linien erkennbar sind (Abb. 19 und 20). Abb. 19 und 20 zeigen die unterschiedliche Zusammenstellung des Gefüges: Zu den Oberflächen des Beils hin ist eine Zunahme des Kohlenstoffgehaltes erkennbar, ohne dass dieser die Härte des Metalls nennenswert beeinflusst hat (105 zu 130 HV). Der Kern der Probe (und somit das Beil) weist Phosphor auf (relativ große Körner und der sog. ghosting-Effekt deuten klar darauf hin). Der Oberflächenbereich enthält Spuren von mechanischer Verformung (Abb. 21). Zudem ist in diesem Bereich Kohlenstoff (bis max. 0,4 %) zwischen den Körnern vorhanden.

Es gibt für dieses Beil keine Hinweise, dass versucht wurde, das Metall durch schnelle Abkühlung zu härten. Falls es sich bei dem Beil um ein bereits fertiges Produkt handelt, dann wäre diese Struktur des Gefüges ein Indiz dafür, dass der Schmied mit den Eigenschaften des Materials vertraut war. Ein zu hartes und somit sprödes Eisen hätte die Funktionsfähigkeit des Objektes negativ beeinflusst.

Probe 3: Tülle des Beils (Abb. 22 und 23)

Diese Probe wurde ebenfalls mittels der Spark-Erosion-Technik entnommen.

Im nichtgeätzten Zustand waren einige parallel verlaufenden Linien von Schlackeneinschlüssen erkennbar (Abb. 22). Im geätzten Zustand (Abb. 23) ist eine Struktur aus Eisen mit relativ wenig Kohlenstoff zwischen den Körnern entlang der Korngrenzen sichtbar. Die verzerrte Kornstruktur weist auf eine intensive mechanische Bearbeitung hin (Hämmern), was möglicherweise auch die relativ hohe Härte (bis 207 HV) erklären könnte. Einen Hinweis auf Härtung durch Abschrecken gibt es hingegen nicht.

Mikro-Härte Tests (nach Vickers)

Probe 1: Ferrit und Phosphoreisen (187HV) und Ferrit (135HV).

Probe 2: Ferrit und Phosphoreisen (105HV) und Ferrit und Phosphoreisen (130HV).

Probe 3: Ferrit (130HV) und Ferrit und Phosphoreisen (207HV).

Dieses Beil wies unterschiedliche Arten von Eisen auf: ferritisches Eisen mit einem geringen bis mittleren Kohlenstoffgehalt (bis ca. 0,4 %) in den Oberflächenbereichen und phosphorhaltiges Eisen im Kern. Die Kornstrukturen entlang der Oberflächen deuten auf eine mechanische Verformung (Hämmern) hin. Die Struktur in Probe 2 könnte für ein Zusammenschmieden von Eisen unterschiedlicher Zusammensetzung sprechen, da der phosphorhaltige Kern klar durch eine Weldline vom Bereich mit Ferrit und Perlit getrennt wurde (Abb. 20). Hinweise auf eine martensitische Umwandlung, d.h. Härtung durch schnelles Abkühlen des Eisens, wurden erneut nicht festgestellt.

Beil S5030-9 (Abb. 24 bis 26)

Das Beil S5030-9 wurde im gleichen Kontext wie Beil S5099 entdeckt (Quadrant B18). Es handelt sich um ein Tüllenbeil mit folgenden Daten (Abb. 24):

Erhaltene Länge:	19,5cm
Abmessungen der Tülle:	3,8x3,9cm
Länge der Tülle:	7,2cm
Länge des Blattes:	12,3cm
Max. Breite des Blattes:	7,1cm
Dicke des Blattes:	0,6–2,1cm (incl. Korrosion)
Gewicht:	805,9 g

Das Röntgenbild (Abb. 25) zeigt eine generell gute Erhaltung des Metalls und keine Anzeichen von einer Oberflächenbehandlung (z.B. Dekoration). Der Schneidenbereich weist Spuren von Rissen und Korrosion auf. Die Andeutung des Risses entlang des vorderen Drittels des Blattes stellt eine Beschädigung dar, die durch das leichte Verbiegen des Blattes verursacht worden ist (Abb. 26).

Probe 1: Schneide (Abb. 27 bis 30)

Probe 1 wurde aus der Schneide des Beils mit einer Diamantsäge entnommen. Die Aufbereitung der Probe erfolg-

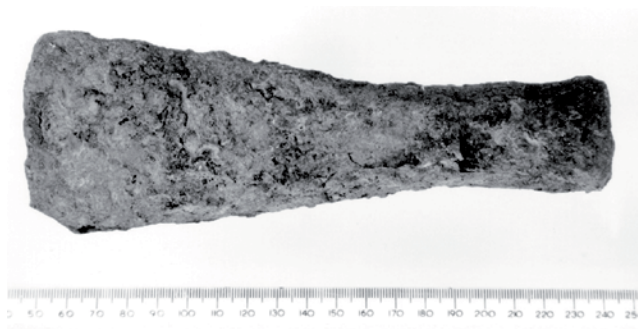


Abb. 24: Beil S5030-9.

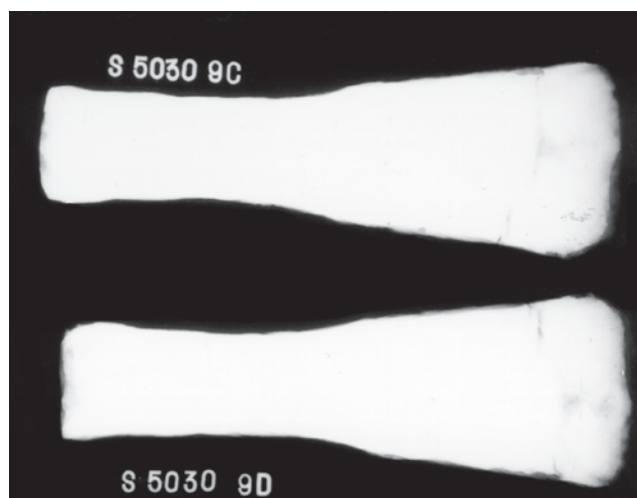


Abb. 25: Beil S5030-9, Röntgenaufnahme (C: 110kV, 120s; D: 110kV, 240s).

te analog zu den anderen Proben. In der schematischen Übersicht (Abb. 27) ist erkennbar, dass in dieser Probe sehr unterschiedliche Bereiche vorhanden waren.

Im nichtgeätzten Zustand waren parallel zum Blatt des Beils verlaufende Linien bestehend aus Schlackeneinschlüssen sichtbar. Der korrodierte Teil bestand aus abwechselnden hellen und dunklen Bereichen. Im geätzten Zustand (2% Nital) wurden drei unterschiedliche Gefügestrukturen erkannt: Das Zentrum der Probe bildet ein Streifen aus Perlit mit Ferrit. Der Kohlenstoffgehalt dieses Bereichs nahm Richtung Kern hin leicht zu. Dieser Streifen wurde einerseits durch eine helle Weldline und andererseits durch Schlackeneinschlüsse begrenzt. Der Bereich, der durch die helle Weldline abgegrenzt wird, bestand aus größeren Körnern mit feinem Perlit und einigen Bereichen mit Widmannstätten-Strukturen. Die Korngröße nahm zur Oberfläche hin ab (Abb. 28).

Der Bereich der Schneide wird durch eine durch eine schnelle Abkühlung verursachte martensitische Struktur gekennzeichnet. Der Kohlenstoffgehalt dieses Bereiches beträgt ca. 0,5%. Klar erkennbar war ein abnehmender Kohlenstoffgehalt von der Schneide zum Inneren der Probe hin (Abb. 29 und 30). Dies könnte ein Indiz für ein

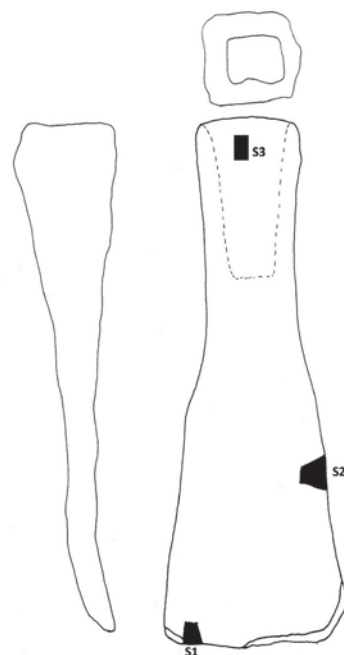


Abb. 26: Beil S5030-9, S1 bis S3 zeigen die Probeentnahmestellen (M. 1:3).

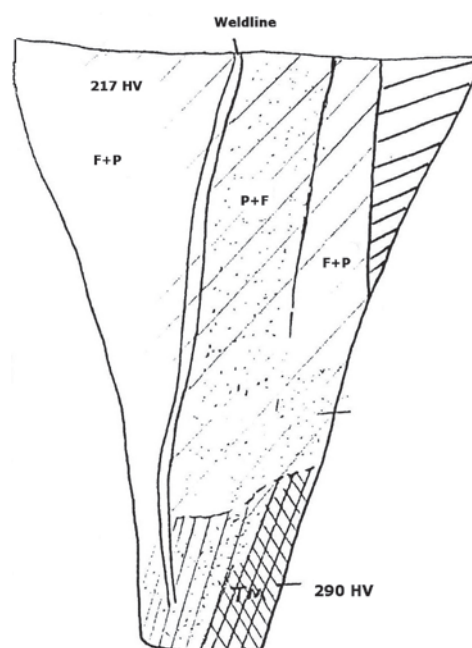


Abb. 27: Beil S5030-9, Probe 1, schematische Übersicht (Legende s. Abb. 14; M. 10:1).

zielgerichtetes hinzufügen von Kohlenstoff während der Bearbeitung sein.

Probe 2: Randbereich des Beilblattes (Abb. 31 bis 33)

Im nichtgeätzten Zustand wurden etliche Linien von Schlackeneinschlüssen, parallel zum Blatt des Beils verlaufend, beobachtet (Abb. 31). Im geätzten Zustand wurden drei unterschiedliche Strukturen und eine helle Weldline festgestellt. Die drei Strukturen sind: Ferrit (Abb.

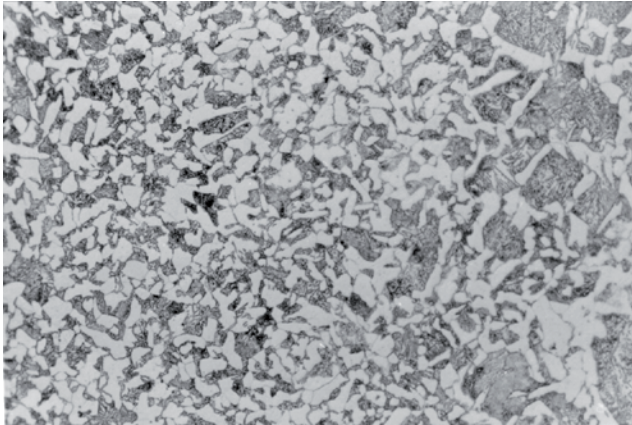


Abb. 28: Beil S5030-9, Probe 1, Perlit und Ferrit mit Widmannstätten-Struktur, M:150x.

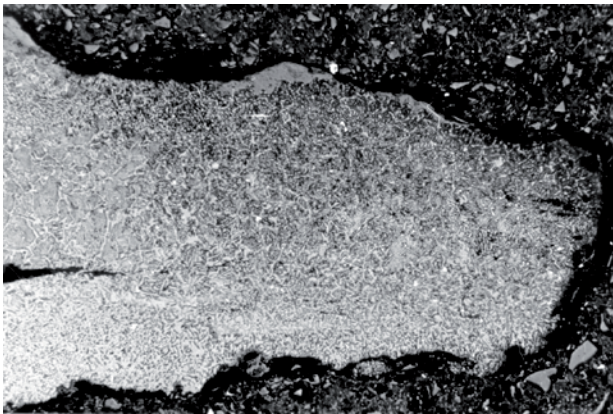


Abb. 29: Beil S5030-9, Probe 1, Schneide des Beils mit erkennbarer Kohlenstoffdiffusion, M:37,5x.

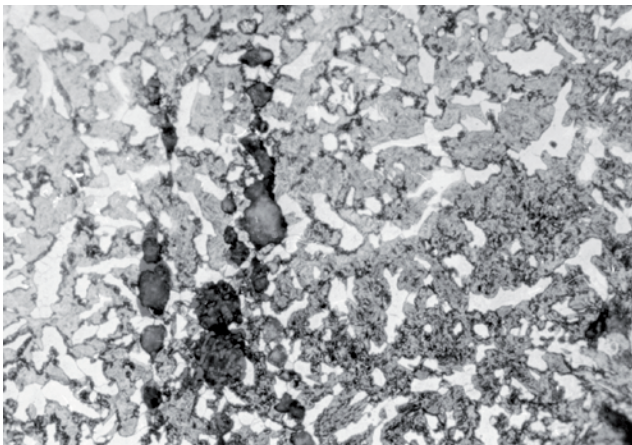


Abb. 30: Beil S5030-9, Detail, martensitische Struktur im Bereich der Schneide, M:300x.

32), Phosphoreisen (Abb. 32) sowie Perlit und Ferrit (Abb. 33). Der Bereich mit phosphorhaltigem Eisen ist durch die Korngröße und den sog. ghosting-Effekt erkennbar. Dieser Bereich wird von zwei aus Schlackeneinschlüssen bestehenden Linien eingeschlossen, die diesen Bereich

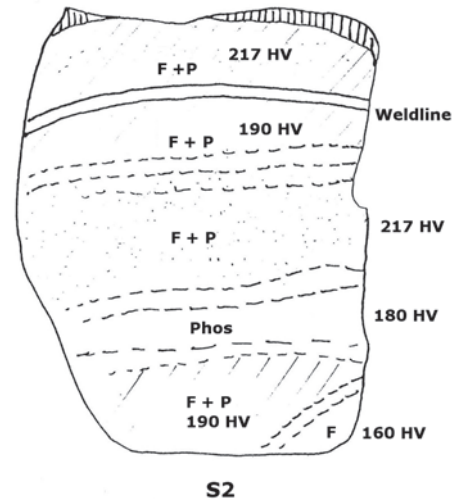


Abb. 31: Beil S5030-9, Probe 2, schematische Übersicht (Legende s. Abb. 14; M: 5:1).

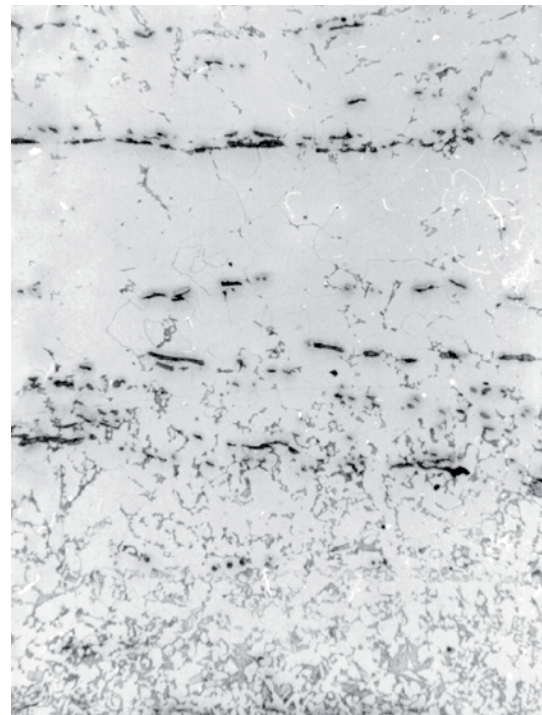


Abb. 32: Beil S5030-9, Probe 2, Ferrit und Perlit und Ferrit mit Phosphor, M:75x.

von dem ferritischen Eisen und dem Eisen mit mittlerem Kohlenstoffgehalt trennen. Kennzeichnend für diese Probe war eine heterogene Struktur aus Eisen mit niedrigem bzw. mittlerem Kohlenstoffgehalt. Zeichen einer Hitzebehandlung bzw. beabsichtigten Qualitätsverbesserungsmaßnahmen wurden nicht festgestellt.

Probe 3: Tülle des Beils (Abb. 34 und 35)

Im nichtgeätzten Zustand waren viele Schlackeneinschlüssen sichtbar. Außerdem war die Probe zum Teil stark korrodiert. Erkennbar war, dass die Korrosion zum Teil entlang einiger Schlackeneinschlüsse verlief, mögli-

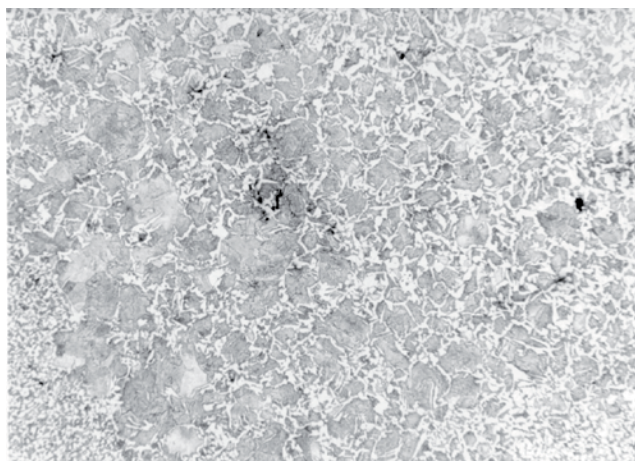


Abb. 33: Beil S5030-9, Probe 2, Perlit mit Ferrit, M:75x.

cherweise als Folge einer misslungenen Weldline (Abb. 34 und 35)²². Zudem weist der ghosting-Effekt und die relativ große Korngröße auf Phosphor im Gefüge hin.

Mikro-Härte Tests (nach Vickers)

Probe 1: Spitze martensitische Struktur (280–325 HV, Mittel: 290 HV), Stahl mit wenig Kohlenstoff (205–220 HV; Mittel: 217 HV), Stahl mit mittlerem Kohlenstoff Kern (272 HV) und Stahl mit mittlerem Kohlenstoff Klinge (272–280 HV; Mittel 276 HV).

Probe 2: Eisen mit niedrigem/mitlerem Kohlenstoff (190–240 HV; Mittel: 217 HV), Ferrit (160 HV) und Phosphoreisen (180 HV).

Probe 3: Ferrit (140 HV) und Phosphoreisen (146 HV).

Das Beil S5030-9 wurde nur geringfügig anders hergestellt als Beil S5099. Dies zeigt vor allem die Verwendung von unterschiedlichem Eisen für unterschiedliche Teile der Beile in beiden Exemplaren. Auf eine fortschrittliche Technik deutet die wahrscheinlich zielgerichtete Härtung der Schneide durch Abschreckung hin. Die Verwendung von ferritischem Eisen für die Tülle und Phosphoreisen für bestimmte Bereiche der Beile deutet darauf hin, dass sich der Schmied der unterschiedlichen Eigenschaften dieser Eisentypen bewusst war²³.

Bei genauer Betrachtung werden in beiden Beilen ähnliche Typen von Eisen für die gleichen Bereiche genutzt. Zeichen einer zielgerichteten Härtung der Schneide von Beil S5030-9 mittels Abschreckung des Metalls und Aufkohlung durch das Hinzufügen von Kohlenstoff könnte zudem darauf hinweisen, dass Beil S5099 nicht fertiggestellt worden ist bzw. eine andere Funktion erfüllen sollte. Ob die beiden Beile in der gleichen Werkstatt hergestellt

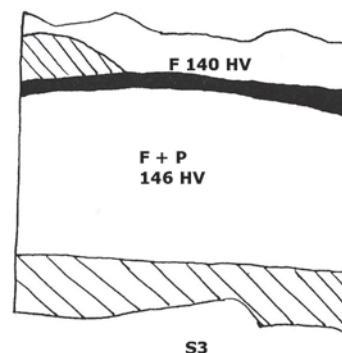


Abb. 34: Beil S5030-9, Probe 3, schematische Übersicht (Legende s. Abb. 14; M. 5:1).

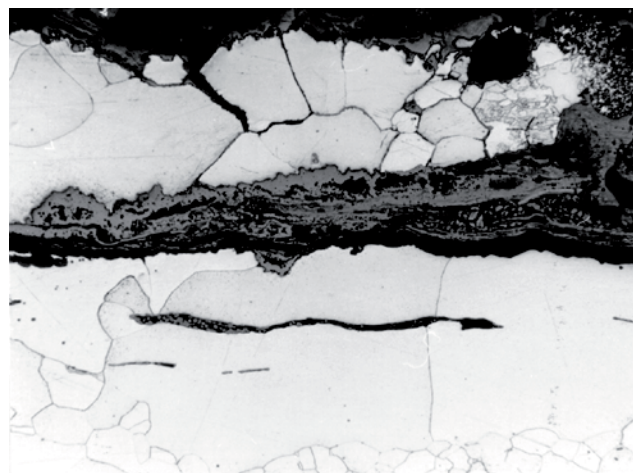


Abb. 35: Beil S5030-9, Probe 3, Korrosionsschicht entlang einer Linie von Schlackeneinschlüssen, M:150x.

wurden, wie es ihre Herkunft aus dem gleichen Fundkontext im Quadrant B18 vermuten lässt, ist anhand der Analysen nicht zu verifizieren²⁴.

Messer S5030 (Abb. 36 bis 38)

Das Messer S5030 wurde, wie die Beile S5099 und S5030-9, im Quadrant B18 in einem um 650 v. Chr. datierten Kontext gefunden. Bereits vor den Analysen wurde die Hypothese aufgestellt, dass alle Objekte, die aus einem ähnlichen Gefüge bestehen, aus einer Produktionsstätte stammen könnten. Da im gleichen Kontext auch die Eisenluppe S5030-3, Gewichte aus Blei, eine Waage und einige Schlacken gefunden wurden, wäre es denkbar, dass hier Abfälle und einige der hergestellten Objekte einer Werkstatt zur Ablage kamen.

Das Messer (Abb. 36) war in zwei Teile zerbrochen. Typologisch ist das Messer vergleichbar mit zwei Mes-

²² McDonnell, pers. Komm.

²³ Dabei stellt sich die Frage, ob Beil S5099 überhaupt ein Fertigprodukt ist (Nijboer, pers. Komm.).

²⁴ „Moreover in one workshop different smiths might have worked, even an apprentice. We cannot even state that these iron artefacts were worked fully, or in the process of being worked fully” (Nijboer, pers. Komm.).



Abb. 36: Messer S5030.

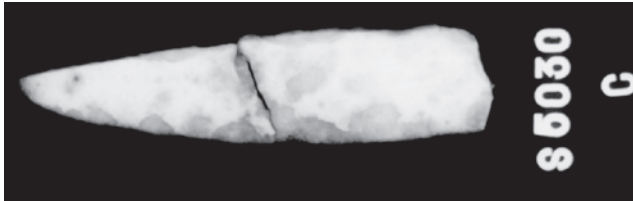


Abb. 37: Messer S5030. Röntgenaufnahme (100kV, 60s).

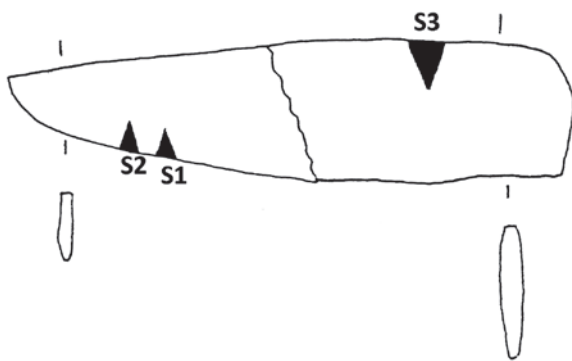


Abb. 38: Messer S5030, S1 bis S3 zeigen die Probeentnahmestellen (M. 1:2).

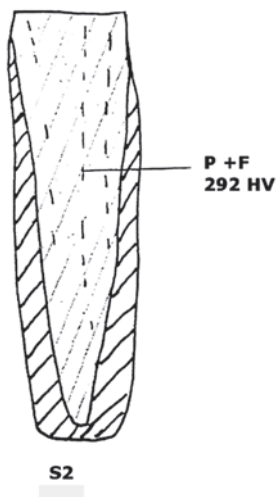


Abb. 39: Messer S5030, Probe 2, schematische Übersicht (Legende s. Abb. 14; M. 10:1).

sern aus Tarquinia. Eines stammt aus einer Nekropole in Selciatello (Grab 64, unbekannter Datierung; Hencken 1968, 198, 284 f. Abb. 267) und eines aus einer Nekropole in Monterozzi (Villanova IIB; Hencken 1968, 188 Abb. 173e). Das Messer hat folgende Maße:

Erhaltene Länge: 11,2 cm

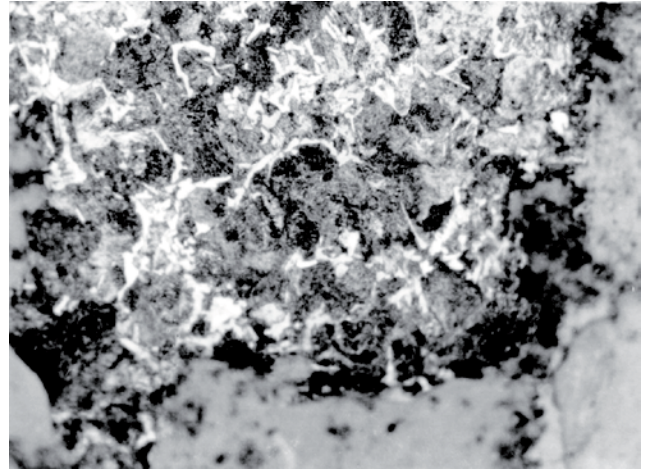


Abb. 40: Messer S5030, Probe 2, quasi eine Martensit-Struktur, M:300x.

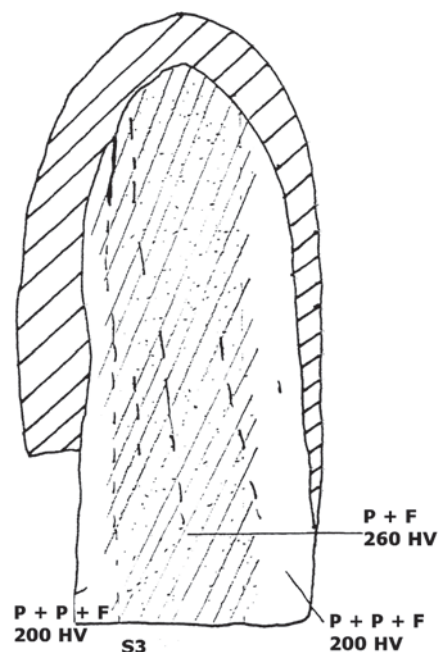


Abb. 41: Messer S5030, Probe 3, schematische Übersicht, (Legende s. Abb. 14; M. 10:1).

Höhe: 0,5–2,7 cm
 Stärke des Blattes: 0,15–0,18 cm
 Schneide: 0,20–0,30 cm (Rücken)
 Gewicht: 29,6 g

Das Röntgenbild (Abb. 37) ergab, dass die Schneide des Messers zum größten Teil korrodiert ist und nur einige Bereiche noch metallisches Eisen aufweisen (hellere Bereiche). Probe 1 wies gar kein metallisches Eisen mehr auf und wurde daher nicht weiter analysiert.

Probe 2: Schneide (Abb. 39 und 40)

Probe 2 (Abb. 39) wurde mit einer Diamantsäge aus der Schneide des Messers entnommen. Im nichtgeätzten

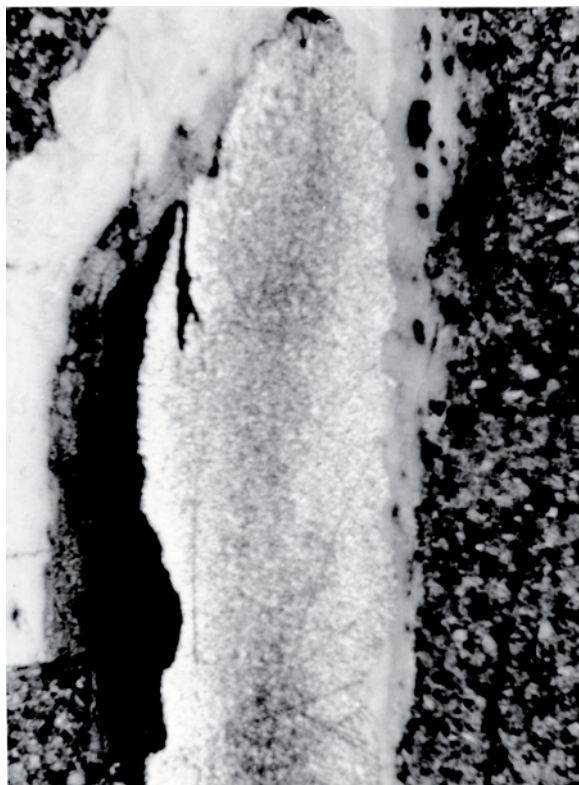


Abb. 42: Messer S5030, Probe 3, Rücken des Messers, Stahl mit Ferrit, M:18,75x.

Zustand waren nur einige wenige Linien aus Schlackeneinschlüssen erkennbar. Im geätzten Zustand wurde ein relativ homogenes Gefüge aus Perlit und Ferrit (Eisen mit mittlerem Kohlenstoffgehalt) sichtbar. Im Bereich der Schneide wurden erhöhte Kohlenstoffwerte und quasi eine Martensit-Struktur festgestellt (Abb. 40). Dies könnte ein Hinweis auf eine beabsichtigte Härtung des Metalls durch Abschreckung des Eisens sein.

Probe 3: Rücken des Messers (Abb. 41 und 42)

Probe 3 zeigt, dass dieser Bereich teilweise stark korrodiert ist. Auffällig ist die fortgeschrittene Korrosion am Randbereich. Das Gefüge macht den Eindruck, dass hier eine Weldline, die als Nahtstelle zwischen einem Kern aus Eisen mit mittlerem Kohlenstoffgehalt und einem Bereich aus eher ferritischem Eisen fungierte, korrodiert ist. Für die Herstellung des Messers wurde vermutlich ein Kern aus Eisen mit mittlerem bis hohem Kohlenstoffgehalt verwendet, eingebettet in oder ummantelt mit ferritischem Eisen.

Mikro-Härte Tests (nach Vickers)

Probe 2: Perlit und Ferrit (292 HV).

Probe 3: Randbereich Ferrit (200 HV) und Kernbereich des Eisens mit mittlerem Kohlenstoffgehalt (260 HV).

Das Messer bestand aus zwei unterschiedlichen Eisentypen: ferritischem Eisen für den Körper, um eine notwendi-



Abb. 43: Messer S4607.

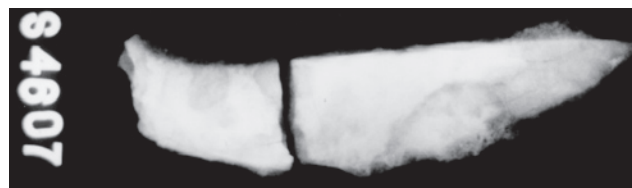


Abb. 44: Messer S4607, Röntgenaufnahme (100kV, 60s).

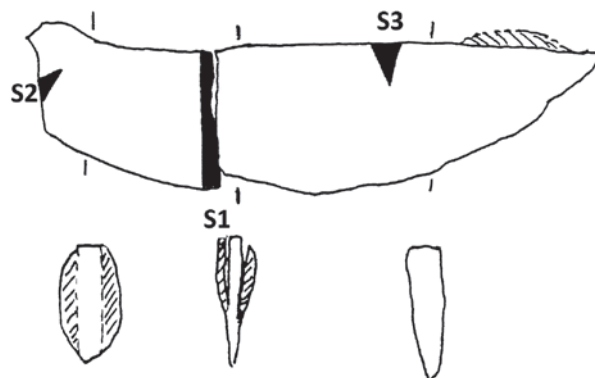


Abb. 45: Messer S4607, S1 bis S3 zeigen die Probeentnahmestellen (M. 1:2).

ge Belastbarkeit zu erreichen und einem Kern aus Eisen mit mittlerem bis hohem Kohlenstoffgehalt. Die Spitze der Schneide könnte zudem durch zusätzliche Karbonisierung und eine schnelle Abkühlung gehärtet worden sein. Die Werte des Vickers Tests für das Messer sind für den potenziell gehärteten Bereich vergleichbar mit den Werten, die für das Beil S5030-9 in einem ähnlichen Bereich gemessen wurden. Die Zusammensetzung des Gefüges deutet darauf hin, dass sich der Schmied über die Eigenschaften und Qualitäten der verwendeten Materialien bzw. die angewendeten Techniken bewusst war.

Messer S4607 (Abb. 43 bis 45)

Messer S4607 (Abb. 43) stammt aus dem Quadrant C12 in dem auch viele Eisenschlacken gefunden wurden (s. Abb. 4)²⁵. Das Messer war in zwei Teile zerbrochen.

²⁵ Fragment eines Messers (Messerspitze), S4607, 7. Jh. v. Chr. (Maaskant-Kleibrink 1987, 30 Kat.-Nr. 2087).

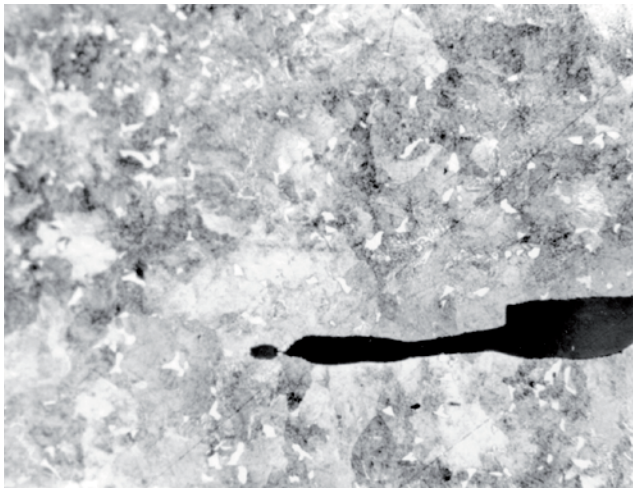


Abb. 46: Messer S4607, Probe 1, Schlackeneinschluss ohne FeO in Ferrit und Perlit Gefüge, M:300x.

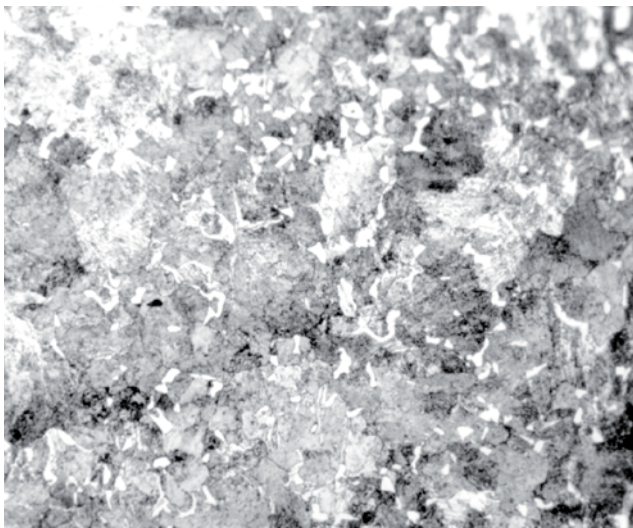


Abb. 47: Messer S4607 Probe 2 feines kohlenstoffreiches Perlit/Zementit Gefüge M300x.

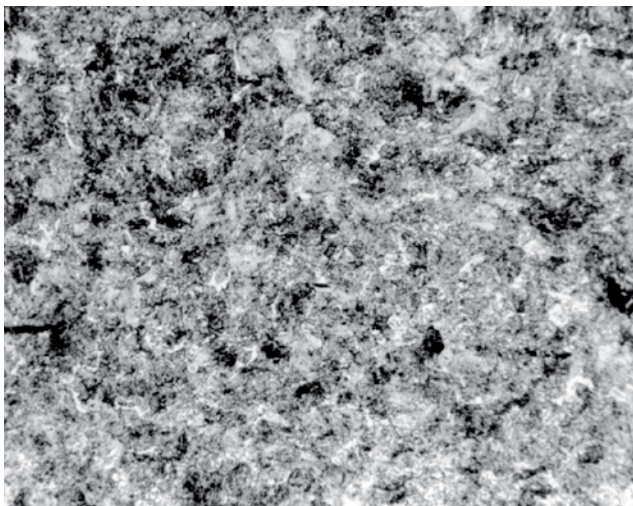


Abb. 48: Messer S4607, Probe 2, feiner Perlit mit hohem Kohlenstoffgehalt, M:300x.

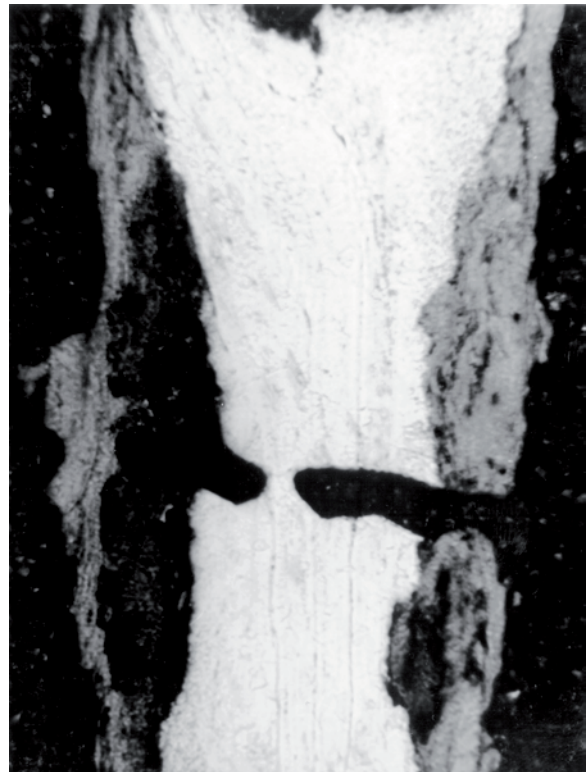


Abb. 49: Messer S4607, Probe 3, nicht geätzt, M:18,75x.

	Fragment 1	Fragment 2
Erhaltene Länge:	7,6 cm	3,3 cm
Höhe max.:	2,9 cm	2,7 cm
Stärke des Messers :	0,5–0,6 cm	1,0 cm
Stärke der Schneide:	0,2–0,6 cm	–
Gewicht:	27,0 g	14,3 g

Anhand des Röntgenbildes (Abb. 44) ist ersichtlich, dass ausreichend Metall für eine Untersuchung zur Verfügung stand. Die Proben wurden an den in Abb. 45 gekennzeichneten Stellen entnommen, Probe 1 als kompletter Querschnitt. Auf eine Probe aus der Schneide musste aufgrund der Korrosion sowie einer möglichen Beschädigung des Objektes in diesem Bereich verzichtet werden.

Probe 1: Querschnitt (Abb. 46)

In dieser Probe war nur im Kern Metall erhalten, da sowohl die Schneide als auch der Rücken des Messers stark korrodiert waren. Im nichtgeätzten Zustand wurden nur einige Schlackeneinschlüsse erkannt. Auffällig war jedoch, dass diese kaum oder kein Eisenoxid enthielten (Abb. 46)²⁶. Im geätzten Zustand war erkennbar, dass der Kern durch eine feine Perlit-Zementit/Ferrit-Struktur eines mittleren bis hohen kohlenstoffhaltigen Eisens gekennzeichnet wurde (Abb. 47).

²⁶ Dies deutet auf eine stark reduzierende Umgebung hin (McDonnell pers. Komm.).

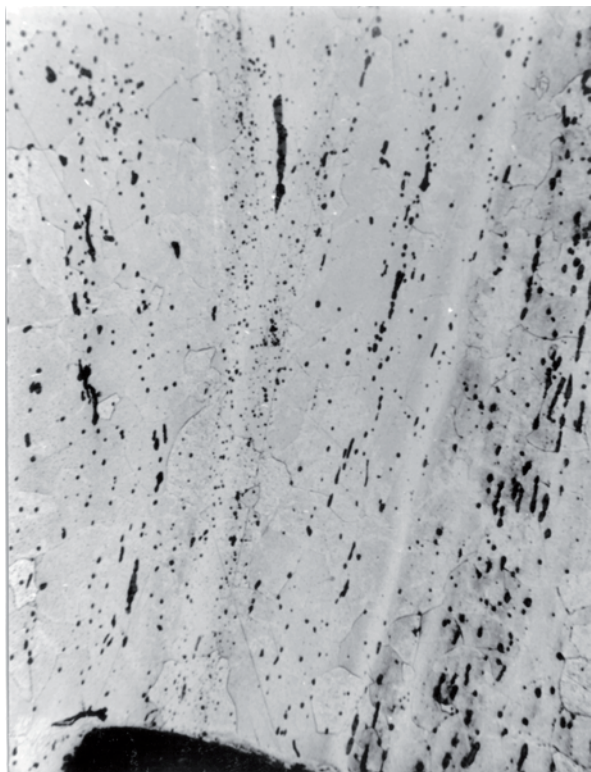


Abb. 50: Messer S4607, Probe 3, Ferrit mit vielen Schlackeneinschlüssen, M:75x.

Probe 2: Griff des Messers (Abb. 48)

Im nichtgeätzten Zustand waren viele Schlackeneinschlüsse erkennbar. Im geätzten Zustand war die Struktur derjenigen von Probe 1 sehr ähnlich (Abb. 48). Es handelt sich hierbei um Eisen mit einem hohen Kohlenstoffgehalt in einer feinen Perlit-Zementit-Struktur. Eindeutige Hinweise auf eine beabsichtigte Härtung des so entstandenen Stahls durch Abschrecken wurden nicht festgestellt. Dass Proben 1 und 2 sehr ähnliches Material repräsentieren, beweisen auch die übereinstimmenden Werte des Vickers Härte tests.

Probe 3: Rücken des Messers (Abb. 49 und 50)

Im nichtgeätzten Zustand waren mindestens vier Linien von Schlackeneinschlüssen erkennbar, die parallel zum Blatt des Messers verliefen (Abb. 49). Im geätzten Zustand (Abb. 50) war ersichtlich, dass sich die Struktur grundlegend von derjenigen der Proben 1 und 2 unterschied. Anstelle durchgehend kohlenstoffhaltigem Eisens tritt hier ein Gefüge aus Ferrit und phosphorhaltigem Eisen zutage; in einigen Bereichen war allerdings auch Ferrit und Perlit vorhanden. Leider konnte in keiner der Proben ein Übergang zwischen diesen Strukturen erkannt werden.

Mikro-Härte Tests (nach Vickers)

Probe 1: Perlit und Zementit/Ferrit (280 HV).

Probe 2: Perlit und Zementit/Ferrit (275 HV).

Probe 3: Ferrit und Phosphoreisen (167 HV) und Ferrit und Perlit (150 HV).

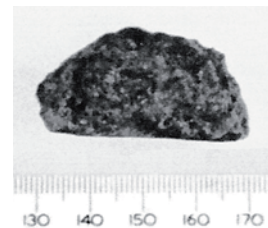


Abb. 51: Eisenluppe, S5030-3.

Das Messer S4607 wurde aus mindestens zwei unterschiedlichen Eisentypen hergestellt: für den Rücken wurde ein eher weiches kohlenstoffarmes Eisen, für den Kern und den Griff dagegen ein Stahl mit hohem Kohlenstoffgehalt verwendet²⁷. Eindeutige Hinweise auf Härtung durch Abschrecken und eine daraus resultierende Martensit-Struktur wurden nicht erkannt, sind aber auch nicht gänzlich auszuschließen. Auffällig ist, dass die erzielte Härte in Probe 1 den bisher höchsten gemessenen Wert lieferte. Das Beil S5030-9, Messer S5030 und Messer S4607 wurden, wenn nicht durch denselben Schmied, so vermutlich doch durch Handwerker mit sehr einheitlichem Kenntnisstand hergestellt.

Eisenluppe S5030-3

Aus dem gleichen Kontext (Quadrant B18) wie Messer S5030 und die Beile S5099 und S5039-9 stammt eine ungewöhnliche Eisenluppe. Für die Auswertung stand die Hälfte dieser Luppe zur Verfügung (Abb. 51).

Abmessungen: 4,1 x 2,3 x 2,2 cm

Gewicht: 53,95 g

Die Luppe war an der Oberfläche korrodiert und Spuren mechanischer Verformungen (Hämmern) waren erkennbar. Zudem durchsetzen einige Schlackeneinschlüsse das Innere. Es wurden drei Proben für eine metallografische Analyse entnommen und einige Schlackeneinschlüsse mittels REM-EDAX quantitativ untersucht. Im nichtgeätzten Zustand zeigt sich eine Schicht aus Schlacke auf einem metallischen Kern. In dieser Schicht waren Globuli aus Eisenoxid in einer Fayalitischen Matrix erkennbar, wie dies für Eisenschlacken charakteristisch ist (Abb. 52). Insgesamt wurden drei Proben der Luppe metallographisch untersucht. In allen drei Proben wurde eine vergleichsweise heterogene Struktur festgestellt, die hier anhand von Probe zwei exemplarisch erläutert wird.

Im Allgemeinen war ein lamellares Gefüge aus Ferrit und Perlit/Zementit erkennbar (Abb. 53). Die lamellare Struktur deutet auf eine langsame Abkühlung der Luppe hin (s. auch Abb. 7). Der Kohlenstoffgehalt war relativ hoch (bis zu 0,7–0,8%), jedoch unterschiedlich in der Probe verteilt. Neben dieser Struktur war zum Rand hin ein Band aus großen Körnern phosphorhaltigem Eisen erkennbar (Abb. 7). Obwohl ein ghosting-Effekt nicht erkannt wurde,

²⁷ Dies ist vergleichbar mit der Struktur von Messer S5030.

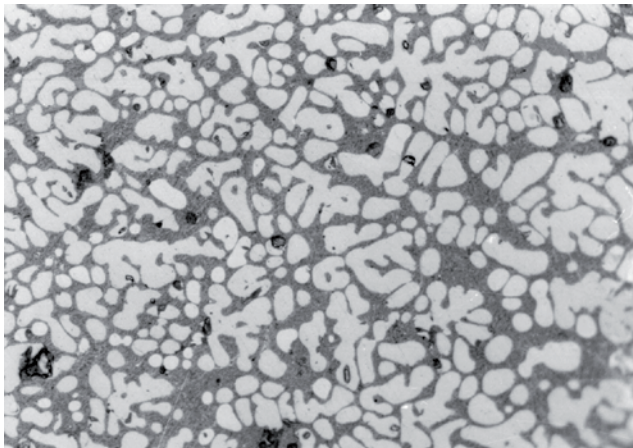


Abb. 52: Eisenluppe, S5030-3, Probe 1, FeO im Fayalitgefüge, M:300x.

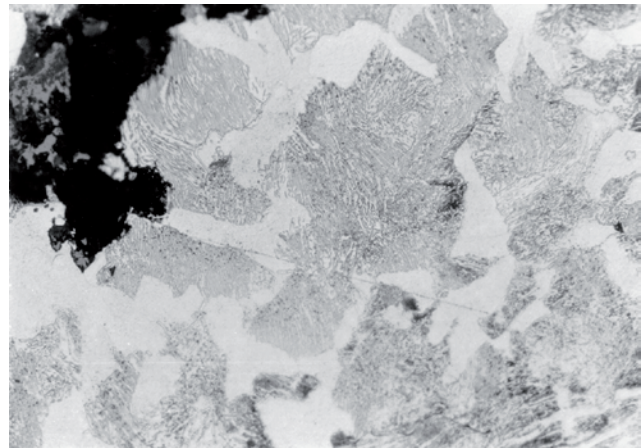


Abb. 53: Eisenluppe S5030-3, Probe 2, lamellares Gefüge von Ferrit und Perlit/Zementit, M:150x.

Oxide	Probe 1	Probe 2
MgO	1,4	2,2
Al ₂ O ₃	7,7	5,9
SiO ₂	33,4	8,6
P ₂ O ₅	2,0	1,1
CaO	1,5	2,1
MnO	1,9	1,2
FeO	52,1	79,0
Total	100,0	100,1

Tab. 5: SEM-EDX-Analysen von zwei Proben der Luppe S5030-3 (Normalisiert $\pm 0,5\%$).

	Area 1	Matrix
MgO	0,7	0,4
Al ₂ O ₃	17,8	14,2
SiO ₂	63,9	52,4
P ₂ O ₅	1,2	2,8
CaO	1,3	3,7
K ₂ O	2,3	2,8
MnO	0,7	3,1
FeO	12,5	23
Total	100,4	102,4

Tab. 6: SEM-EDAX-Analysen der Schlacke S4782-2.

deuten das Vorhandensein von Kohlenstoff und die Korngrößen in diesen Bereichen auf Phosphor hin.

Um eine eventuelle Beziehung zwischen der Luppe und den in *Satricum* gefundenen Eisenschlacken herzustellen, wurden einige SEM-EDX-Analysen von Schlackeneinschlüssen in der Luppe und einigen Schlacken durchgeführt. Die Ergebnisse der quantitativen Analysen sind in Tab. 5 dargestellt. Für die in der Luppe vorgefundenen Schlacken kann angenommen werden, dass diese beim Schmelzen des Erzes entstanden sind. Die Analysen zeigen also, dass das Erz einen relativ hohen Anteil an Mangan und Phosphor enthalten hat.

Die Luppe wurde hergestellt aus einem Eisenerz mit einem substantiellen Anteil an Mangan und Phosphor. Dies wurde sowohl durch die quantitative Analyse als

auch durch die metallografischen Untersuchungen bestätigt. Das Gefüge deutet auf eine langsame Abkühlung der Luppe hin. Inwieweit die Struktur einer Luppe durch die Schmelzer kontrolliert werden konnte ist Gegenstand einer Diskussion, in der R. Maddin die Position vertritt, dass Eisenluppen mit hohem Kohlenstoffgehalt in der Antike nicht produziert werden konnten. Er beruft sich dabei auf Untersuchungen an Luppen aus Khorsabad, Nimrud und dem Schiffswrack in Kyrenia (Maddin 1986, 17). R. E. Clough (Clough 1986, 26f.) ist dagegen der Meinung, dass durch eine kontrollierte Luftzufuhr mittels Blasebalg und eine ausgewogene Bilanz von Holzkohle und Erz die Struktur der Luppe nach Belieben kontrolliert werden konnte. Da allerdings die Schmelze in der Vorgeschichte wohl kaum unter Laborbedingungen stattgefunden haben dürfte, ist die heterogene Struktur wie in Luppe S5030-3 kein unerwartetes Ergebnis. Der hohe Kohlenstoffgehalt des Eisens zeigt aber, dass diese, im Sinne Cloughs, durchaus produziert werden konnten.

SEM-EDAX-Analysen der Schlacken

Um Hinweise auf eine lokale Schmiede zu überprüfen, wurden einige der in *Satricum* entdeckten Eisenschlacken quantitativ analysiert. Es galt zu prüfen, ob die Eisenluppe möglicherweise lokal hergestellt wurde und ob die Zusammensetzung der verschiedenen Schlacken auf die Verwendung eines ähnlichen Erzes hindeuten könnte. Dazu wurden speziell die Werte für Phosphoroxid und Manganoxid betrachtet, da diese typische Indikatoren für die Verwendung von Raseneisenerz sind. Die Analysen wurden von H.G. Bachmann (Maaskant-Kleibrink 1992, 106f.) und G. Abbingh (Abbingh 1993, 55–58) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Analysen sind in Tab. 7 wiedergegeben. Aufgrund der geringen Datenbasis und der zu erwartenden Heterogenität in der Zusammensetzung der Schlacken können aus den Werten der Tab. 7 jedoch keine eindeutigen Aussagen abgelesen werden. Wenn man z.B. die Einzelanalysen der Schlacken betrachtet, wird deutlich, dass sich an den Messpunkten der Proben

Oxide	S5030-3 S1	S5030-3 S2	S5149	S4982	S3572-2	S4782-2	S4906A	S4906B
MgO	1,4	2,2	0,5	NA	0,4	0,6	NA	NA
Al ₂ O ₃	7,7	5,9	10,8	7,7	10,5	16,0	8,4	5,5
SiO ₂	33,4	8,6	33,7	27,1	57,4	58,2	46,6	23,8
P ₂ O ₅	2,0	1,1	0,4	0,6	0,2	2,0	0,3	0,7
CaO	1,5	2,1	1,1	1,0	1,5	2,5	1,0	0,7
MnO	1,9	1,2	0,5	1,6	0,7	1,9	0,7	0,7
FeO	52,1	79	47,8	60,1	27,3	17,8	40,4	66,5
TiO ₂	NA	NA	NA	0,2	NA	NA	0,3	0,1
K ₂ O	NA	NA	5,2	1,4	2,3	2,6	2,0	1,3
Total	100	100,1	100	99,7	100,1	101,6	99,7	99,3

Tab. 7: SEM-EDAX-Analysen der Eisenluppe und der Schlacken aus Satricum (Angaben in %).

Oxide	S5030-3 S1	S5030-3 S2	S5149	S4982	S3572-2	S4782-2	S4782-2	S4906A	S4906B
P ₂ O ₅	2,0	1,1	0,4	0,6	0,2	1,3	3,7	0,3	0,7
CaO	1,5	2,1	1,1	1,0	1,5	2,3	2,8	1,0	0,7
Ratio	1,3	0,52	0,36	0,6	0,13	0,57	1,3	0,3	1,0

Tab. 8: P₂O₅/CaO Ratios der Proben von Satricum.

signifikante Unterschiede in der Zusammensetzung zeigen (zum Beispiel für MnO und P₂O₅ in Schlacke S4782-2, s. Tab. 6). Nur die Schlacke S4782-2, die zu der ersten Kategorie (s. o.) der analysierten Schlacken gehört, weist vergleichbare Werte für Phosphoroxid und Manganoxid wie die Eisenluppe auf. R. B. Heimann, U. Kreher, I. Spazier und G. Wetzel (Heimann et al. 2001, 227–252) postulierten auf Basis ihre Ergebnisse für die Lausitz in Sachsen, dass Kalk als zusätzliches Flux während der Schmelze hinzugefügt wurde. Die hier dargestellten Ratios (Tab. 8) zeigen m. E. kein einheitliches Bild und eine Korrelation zwischen dem Gehalt an CaO und P₂O₅ ist auf Basis der hier vorgestellten Ergebnisse nicht nachweisbar.

Zusammenfassung

Die Analysen der Eisenartefakte aus *Satricum* zeigen klar, dass sich die Eisentechnologie in *Latium Vetus* für das 7. Jh. v. Chr. schon in Phase 2 der Anwendung des Eisens nach Snodgrass (1980, 362) befunden hat (s. auch Nijboer 1998, 159f.). Snodgrass stellte folgende Phasen für die Anwendung von Eisen auf:

- Phase 1: Eisen wird in der Regel für kleine Objekte (meistens Schmuck und Ornamente) verwendet.
- Phase 2: Eisen wird neben für Ornamenten und Schmuck auch für kleinere Werkzeuge (Messer, Beile etc.) eingesetzt. Die Mehrzahl der Objekte wird aber noch aus Kupfer bzw. Kupferlegierungen hergestellt.

Phase 3: Eisen verdrängt Kupfer für die Herstellung von Metallobjekten.

Aufgrund der neueren Forschungsergebnisse in *Latium Vetus* wird aber deutlich, dass Phase eins hier nur schwer erkennbar ist (Nijboer 1998, 160) und im Laufe des 8. Jh. v. Chr. Eisen eine steigende Bedeutung als Grundstoff für die Herstellung von Metallobjekten bekommen hat (Nijboer 2011, 10–17). Auf Basis der hier untersuchten Objekte kann wie folgt festgehalten werden:

Im 7. Jh. v. Chr. wurde in *Satricum* Eisen auf lokaler Ebene verarbeitet. Dies ist durch Schlacken- und Luppenfunde belegbar. Gleichzeitig wurden in *Satricum* Beile und Messer aus Eisen verwendet und Eisenobjekte in relativ großer Stückzahl in den Votivgruben deponiert (s. Nijboer 1998, 170–178). Ob die untersuchten Objekte lokaler Herstellung sind, konnte jedoch nicht sicher ermittelt werden. Die quantitativen Analysen der Schlacken und der Eisenluppe ergaben diesbezüglich kein eindeutiges Ergebnis. Nur aufgrund der relativ hohen Mengen an P₂O₅ und MnO, die in den untersuchten Proben nachgewiesen wurden, ließ sich die Verwendung von Raseneisenerz vermuten²⁸. Die metallographischen Untersuchungen zeigen zwar kein einheitliches Bild, aber für die beiden Messer und das Beil S5099 konnte nachgewiesen werden, dass versucht wurde den Stahl zu härten. Die Zusammensetzung

²⁸ Aufgrund der geringen Menge an Daten wurde auf weiterführende statistische Analysen verzichtet.

zung der unterschiedlichen Teile der Objekte (Messer und Beile) deuten darauf hin, dass der jeweilige Schmied mit den unterschiedlichen Eigenschaften seines Rohmaterials vertraut gewesen sein musste. Die Eisentechnologie war somit im 7. Jh. v. Chr. in *Latium Vetus* relativ weit fortgeschritten.

Danksagung

Ich möchte mich bei Herrn Dr. Albert Nijboer vom Institut für Archäologie der Rijksuniversität Groningen für die Unterstützung bei der Verfassung des Textes ganz herzlich bedanken. Für die Einweisungen und Unterstützungen bei den Probeentnahmen sowie für die durchgeführten Analysen möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Departments of Archaeological Sciences der Universität Bradford, allen voran Dr. Gerry McDonnell, bedanken.

Literatur

- Abbingh 1993 – G. R. Abbingh, The Analyses of Slags and Iron Objects from Le Ferriere (Italy). Unpubl. MA-Thesis University of Bradford (Bradford 1993).
- Balasubramanian o. J. – R. Balasubramanian, Looking into the past for materials of the future, Phosphoric Iron (o. J.). http://www.steelguru.com/article/details/MQ==/Phosphoric_Iron.html (Recherche vom 25.09.2012).
- Bietti-Sestieri/De Santis 2008 – A. M. Bietti-Sestieri, A. De Santis, Relative and absolute chronology of Latium Vetus from the Late Bronze Age to the Orientalizing period. In: D. Brandherm, M. Trachsel (Hrsg.), A New Dawn for the Dark Age? Shifting Paradigms in Mediterranean Iron Age Chronology, Proceedings of the XV World Congress, Lisbon, 4–9 September 2006, Vol. 9 BAR Series Archaeopress (Oxford, 2008) 119–133.
- Burnett et al. 1986 – A. Burnett, P. T. Craddock, N. Meeks, Italian Currency in Papers of the sixth British Museum Classical Colloquium 127–130, British Museum Publications (London 1986).
- Clough 1986 – R. E. Clough, The Bloomery Process-Observations on the use of rich ores and the production of natural steel. In: B. G. Scott, H. Cleere (Hrsg.), The Crafts of the Blacksmith Belfast Symposium U.I.S.P.P. 1984 (Belfast 1986) 19–27.
- Crew 1991 – P. Crew, The Experimental Production of Prehistoric Bar Iron. Journal of the Historical Metallurgy Society 25/ 1, 1991, 21–36.
- Follo et al. 1988 – A. Follo, G. Garagnani, P. Poti, P. Spinedi, Metallurgical Investigation on some Iron Objects of particular archaeological Interest. In: G. Sperl (Hrsg.), PACT 21. The First Iron in the Mediterranean, PACT-Belgium (Rixensart 1988) 133–147.
- Gnade 2007 – M. Gnade, Satricum, Trenta anni di scavi olandesi (Amsterdam 2007).
- Heimann et al. 2001 – R. B. Heimann, U. Kreher, I. Spazier, G. Wetzel, Mineralogical and chemical Investigations of bloomery slags from prehistoric (8th century BC to 4th century AD) iron production sites in upper and lower Lusatia, Germany. Archaeometry 43/2, 2001, 227–252.
- Hencken 1968 – H. Hencken, Tarquinia, Villanovans and Early Etruscans. American School of Prehistoric Research Bulletin 23, Peabody Museum (Cambridge 1968).
- Krar 1984 – S. F. Krar, Technology of Machine Tools. Unit 91, 1984, 622–628.
- Lindberg 1983 – R. A. Lindbergh, Processes and Materials of Manufacture. In: Prentice-Hall of India New (Delhi 1983) 728–732.
- Lober 2012 – D. Lober, Gefüge in Widmannstätten-scher Anordnung. Informationen über Stahl für Metallografen (2012). <http://www.metallograf.de/start.htm?begriffe/gef-widmannstaetten.htm> (Recherche vom 25.09.2012).
- Maddin 1986 – R. Maddin, The Early Blacksmith. In: B. G. Scott, H. Cleere (Hrsg.), The Crafts of the Blacksmith Belfast Symposium U.I.S.P.P. 1984 (Belfast 1986) 7–17.
- Maaskant-Kleibrink 1987 – M. Maaskant-Kleibrink, Settlement Excavations at Borgo Le Ferriere, vol. 1 (Groningen 1987).
- Maaskant-Kleibrink 1992 – M. Maaskant-Kleibrink, Settlement Excavations at Borgo Le Ferriere, vol. 2 (Groningen 1992).
- McDonnell 1986 – J. G. McDonnell, The Classification of early Iron working Slags (Birmingham 1986).
- Nijboer 1998 – A. J. Nijboer, From household production to workshops (Groningen 1998).
- Nijboer 2011 – A. J. Nijboer, Italy, its Interconnections and Cultural Shifts During the Iron Age. Bollettino Di Archeologia on line Edizione Speciale Congresso di Archeologia A.I.A.C., 2008, 1–22. http://151.12.58.75/archeologia/bao_document/articoli/1_NIJOER.pdf (Recherche vom 04.06.2012).
- Nijboer/van der Plicht 2008 – A. J. Nijboer/J. van der Plicht, The Iron Age in the Mediterranean: Recent Radiocarbon Research at the University of Groningen. In: D. Brandherm, M. Trachsel (Hrsg.), A New Dawn for the Dark Age? Shifting Paradigms in Mediterranean Iron Age Chronology, Proceedings of the XV World Congress, Lisbon, 4–9 September 2006, Vol. 9 BAR (Oxford 2008) 103–118.
- Ottaway 1991 – P. Ottaway, The Ironwork and Iron working Evidence from Anglo-Scandinavian Coppergate, York (York 1991).
- Panseri/Leoni 1960 – C. Panseri, M. Leoni, Sulla tecnica di fabbricazione delle armi infero presso gli Etruschi-Esame metallografico di un'ascia di ferro del VII-VI

- sec. a.C. da Vetulonia. *Metallurgia Italiana* 52, 1960, 229–236.
- Panseri/Leoni 1961 – La Tecnologia del Ferro presso gli Etruschi. *Studi Etruschi* 29, 1961, 235–243.
- Panseri/Leoni 1966 – C. Panseri, M. Leoni, Sulla tecnica di fabbricazione delle armi in ferro presso gli Etruschi- Esame di una cuspidi di lancia del IV Sec. a. C., da Montefiascone. *Metallurgia Italiana* 58, 1966, 381–389.
- Piaskowski 1983 – J. Piaskowski, Hypothetische Eigenschaften des in Schleswig-Holstein geschmolzenen Rennfeuereisens. *Offa* 40, 1983, 157–162.
- Pleiner 1980 – R. Pleiner, Early Iron Metallurgy in Europe. In: T. Wertime (Hrsg.), *The Coming of the Age of Iron* (London 1980) 375–415.
- Rehder 1986 – J.E. Rheder, Primitive furnaces and the development of metallurgy. *Journal of the Historical Metallurgy Society* Vol. 20 part 2, 1986, 87–92.
- Regioni/ Garino 1955 – A. Regioni, G. Garino, Esame Tecnologico di un Gruppo di Spade Galliche del Lombardia Nord-Occidentale. *Sibrium* II, 1955, 43–55.
- Scott 1990 – B.G. Scott, Early Irish Iron Working (Ulster 1990).
- Snodgrass 1980 – A. Snodgrass, Iron and the Early Metallurgy in the Mediterranean. *The Coming of the Age of Iron*, 1980, 335–374.
- Sperl 1981 – G. Sperl, Untersuchungen zur Metallurgie der Etrusker. *Etruria Mineraria*, 1981, 29–50.
- Tylecote/Gilmore 1986 – R.F. Tylecote, B. Gilmore, *The Metallography of Early Ferrous Edge Tools and Edged Weapons*. BAR 155 (Oxford 1986).

Anschriften

Gerwin Abbingh M.A.
Lessingstraße 30
83278 Traunstein
E-Mail: gerwin.abbingh@web.de

Dr. Albert J. Nijboer
Groninger Institute of Archaeology der Rijksuniversiteit
Groningen
Poststraat 6
NL 9712 ER Groningen
E-Mail: a.j.nijboer@rug.nl

